

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
ІНЖИНІРИНГ**

№ 6(11), 2022

DOI:10.30857/2786-5371.2022.6

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2022

Засновником видання «Технології та інжиніринг» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну», який у свою чергу був правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР).

№ 6(11), 2022

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

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

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.

Наказ МОН України від 29.06.2021 №735 (додаток 3). Категорія Б. Технічні науки. Спеціальності: 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print

ISSN 2786-538X 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, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Засновник і видавець:

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

Головний редактор:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

Заступник

головного редактора:

Злотенко Б. М., д.т.н., професор

**Відповідальний
секретар:**

Кривонос О. О.

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»: Інформаційні технології, електроніка, механічна та електрична інженерія. 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. 1-347

тел./факс: +38 (044) 256-21-39

e-mail: vistnuk@knu.edu.ua; <http://vistnyk.knu.edu.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 3 від 30.11.2022 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

**TECHNOLOGIES
AND
ENGINEERING**

Issue 6(11), 2022

DOI:10.30857/2786-5371.2022.6

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2022

The owner of «Technologies and Engineering» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition "Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design", which in turn was the legal 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(11), 2022

The state registration of print media is KB № 24822-14762 ИП, originating date 19.04.2021

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

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: №735 dated 29.06.2021 “Technologies and Engineering” in the list of professional publications: cat. B, technical specialties – 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (from 2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print
ISSN 2786-538X online

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

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

Igor V. Panasiuk - Dr., professor

Deputy Editor:

Borys M. Zlotenko - Dr., professor

Executive secretary:

Olena O. Kryvonos

Scientific fields: Information technologies, electronics, mechanical and electrical engineering. 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 1-347

Tel./fax: +38 (044) 256-21-39

e-mail: vistnuk@knuvd.edu.ua; <http://vistnyk.knuvd.edu.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 3, originating date 30.11.2022.

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.

ВІДОМОСТІ ПРО ЧЛЕНІВ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ
наукового фахового журналу
«ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ»
"TECHNOLOGIES AND ENGINEERING"

Панасюк Ігор Васильович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор*, ORCID: 0000-0001-7572-4757.

Злотенко Борис Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора*, ORCID: 0000-0002-0870-8535.

**СЕКЦІЯ: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА,
МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**

Шведчикова Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*. ORCID: 0000-0003-3005-7385.

Осипенко Володимир Васильович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0002-1077-1461.

Білоус Інна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0002-6640-103x.

Денисюк Сергій Петрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-2134-254X.

Жуйков Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-3338-2426.

Мілих Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, ORCID: 0000-0002-6176-3103.

Стаценко Володимир Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-3932-792X.

Суходуб Ірина Олегівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0002-5895-1306.

Чорний Олексій Петрович – доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна, ORCID: 0000-0001-8270-3284.

Шавьолкін Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-3914-0812.

Jasim Mohmed – Docent, PhD, Al-Furat Al-Awsat Technical University – Al-Musssaib Technical college, Kufa, Ira, ORCID: 0000-0002-2983-416X.

Skibniewski Miroslaw – Prof., Ph.D., Dr.h.c., Honor. Prof., Department of Civil & Environmental Engineering A. James Clark School of Engineering University of Maryland, College Park, USA, ORCID: 0000-0002-7102-753X.

Kay Berkling – Prof. Ph.D., Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Karlsruhe. Germany.

Juraj Gerlici – Prof., Dr. Ing., University of Žilina, Slovak Republic.

Kateryna Kravchenko – PhD, University of Žilina, Slovak Republic.

**СЕКЦІЯ: МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**

Галавська Людмила Євгенівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0002-6994-6641.

Березненко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0002-1042-6369.

Арабулі Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID 0000-0003-1049-8255.

Гараніна Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-4715-3851.

Касьян Едуард Євгенович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9540-2824.

Кизимчук Олена Павлівна – доктор технічних наук, професор, Дрезденський технічний університет, Німеччина, ORCID: 0000-0002-8874-8931.

Очеретна Лариса – PhD, доцент, Люберецький технічний університет, Чеська республіка, ORCID 0000-0003-4296-410X.

Славінська Алла Людвигівна – доктор технічних наук, професор, Хмельницький національний університет, Україна, ORCID: 0000-0003-0663-9422.

Хімичева Анна Іванівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-3737-7341.

Хоменко Володимир Григорович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-0013-8010.

СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Барсуков В'ячеслав Зіновійович – доктор хімічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0002-3041-2474.

Плаван Вікторія Петрівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0001-9559-8962.

Андрєєва Ольга Адіславівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8374-2306.

Баула Ольга Петрівна – кандидат хімічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-4305-6517.

Бессарабов Володимир Іванович, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-0637-1729.

Будаш Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8718-1577.

Кузьмінський Євген Васильович – доктор хімічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-5632-8297.

Левицький Володимир Євстахович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, ORCID: 0000-0003-1323-1943.

Мокроусова Олена Романівна - доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID 0000-0003-1943-8048.

Савченко Богдан Михайлович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-8636-5734.

Скорохода Володимир Йосипович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, ORCID: 0000-0002-2352-5964.

Страшний Владислав Володимирович – доктор фармацевтичних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9188-1821.

Valeika Virgilijus – professor, PhD, Department of Physical and Inorganic Chemistry, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, ORCID: 0000-0003-4974-7626.

Кривонос Олена Олександрівна – відповідальний секретар.

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

1. **ДЗІКЕВИЧ А. В., ІВАНОВА М., С., ОЛЕЙНИКОВА І. В.**
РОЗРОБКА АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КОМПЛЕКСУ
ОСВІТЛЕННЯ ПІШОХІДНОГО ПЕРЕХОДУ 9
2. **КОРОГОД Г. О., ВОЛВАЧ А. П.**
АЛГОРИТМ І КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ВИЗНАЧЕННЯ
ВИСОКОТОЧНОГО ЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ ТА ПАРАМЕТРІВ
НЕСТАБІЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ 20
3. **КУЦЬ Н. М., ПИЛИПЕНКО Ю. М.**
КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ГЕНЕРАЦІЇ МУЗИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА
ОСНОВІ МЕЛОДІЇ АВТОРА 32
4. **НИЧЕГЛОД В. В., БУРМІСТЕНКОВ О. П., СТАЦЕНКО В. В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ БУНКЕРА НА ХАРАКТЕР ПРОТІКАННЯ
ПОРОШКОВИХ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ 42
5. **ШОВКАЛЮК М. М., ПАХУНОВА К. Ю., ШЕВЧЕНКО О. М.**
АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТЛОВОЇ
БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ ІЗ УРАХУВАННЯМ СОЦІАЛЬНО-
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ 52

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

6. **ДМИТРИК О. М., БОБРОВА С. Ю., ГАЛАВСЬКА Л. Є., ЄЛІНА Т. В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРИВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОЇ
ПАРА-АРАМІДНОЇ НИТКИ 63

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7. **БУТЕНКО О.О., ЧЕРНИШ О.В., КУБАЙ Ю.О., ХОМЕНКО В.Г.,
БАРСУКОВ В.З., КУРИПТЯ Я.А.**
ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІТІВ В ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИТАХ 72
8. **ЄФІМОВА І. В., СМІРНОВА О. В., БЕССАРАБОВ В. І.**
ОКИСНЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СУБСТРАТІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ У
ПРИСУТНОСТІ ГУМІНОВИХ ТА ГЕМАТОМЕЛАНОВИХ КИСЛОТ 82
9. **РОЇК ОЛЕНА МИКОЛАЇВНА, НІКІТІНА ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА**
ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ГЕЛЮ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ РАН
ТА ОПІКІВ З ШАВЛІЇ ЛІКАРСЬКОЇ ЕКСТРАКТОМ 89
10. **САВЧЕНКО Б.М., СОВА Н.В., НОВИЦЬКИЙ С.С., РОЗВОРА Л. В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОНАПОВНЕНИХ ПЛІВКОВИХ
МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІОЛЕФІНІВ 104

TABLE OF CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES, ELECTRONICS, MECHANICAL AND ELECTRICAL ENGINEERING

1. **DZIKEYVYCH A. V., IVANOVA M. S., OLEINIKOVA I. V.**
THE DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS, ENERGY-EFFICIENT
PEDESTRIAN CROSSING LIGHTING COMPLEX 9
2. **KOROHOD H. O., VOLIVACH A. P.**
ALGORITHM AND COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINATION OF HIGH
PRECISION VALUE OF PHYSICAL QUANTITY AND PARAMETERS OF
UNSTABLE TRANSFORMATION FUNCTION 20
3. **KUTZ N. M., PYLYPENKO Y. M.**
COMPUTER PROGRAM FOR GENERATING MUSICAL COMPOSITIONS
BASED ON THE AUTHOR'S MELODY 31
4. **NYCHEGLOD V. V., BURMISTENKOV O. P., STATSENKO V. V.**
RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE BUNKER ON THE
CHARACTER OF THE FLOW OF POWDERED FLOOR MATERIALS 42
5. **SHOVKALIUK M. M., PAKHUNOVA K. Yu., SHEVCHENKO O. M.**
ANALYSIS OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF THE RESIDENTIAL
HOUSE TAKING INTO SOCIAL AND EXPLOITATIVE FACTORS 52

MATERIAL SCIENCE IN THE TEXTILE, CLOTHING AND FOOTWEAR MANUFACTURING INDUSTRIES

6. **DMYTRYK O. M., BOBROVA S. Yu., HALAVSKA L. Ye. YELINA T. V.**
RESEARCH OF THE TEARING CHARACTERISTICS OF PARARAMID YARN 63

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

7. **BUTENKO O. O., CHERNYSH O. V., KUBAY Yu. O.,
KHOMENKO V. G., BARSUKOV V. Z., KURYPTYA Ya. A.**
APPLICATION OF GRAPHITES IN ELECTRICALLY CONDUCTIVE POLYMER
COMPOSITES 72
8. **EFIMOVA I. V., SMIRNOVA O. V., BESSARABOV V. I.**
OXIDATION OF ORGANIC SUBSTRATES OF DIFFERENT NATURES IN THE
PRESENCE OF HUMIC AND HEMATOMELANIC ACIDS 82
9. **ROIK O. M., NIKITINA O. O.**
JUSTIFICATION OF THE COMPOSITION AND TECHNOLOGY OF THE GEL
FOR THE TREATMENT OF WOUNDS AND BURNS WITH SAGE MEDICINAL
EXTRACT 89
10. **SAVCHENKO B. M., SOVA N. V., NOVYTSKY S. S., ROZVORA L. V.**
RESEARCH OF THE PROPERTIES OF HIGHLY FILLED FILM MATERIALS
BASED ON POLYOLEFINS 104

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.1>

УДК 628.971.6

ДЗІКЕВИЧ А. В., ІВАНОВА М., С., ОЛЕЙНИКОВА І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

РОЗРОБКА АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КОМПЛЕКСУ ОСВІТЛЕННЯ ПІШОХІДНОГО ПЕРЕХОДУ

Мета. Обґрунтування та проєктування автономного комплексу освітлення для пішохідного переходу з підвищеною енергоефективністю. Впровадження альтернативних джерел енергії з розробкою відповідного дизайну. Застосування флуоресцентних та люмінофорних покриттів для створення єдиної автономної та безпечної системи. Використання джерел світла спеціалізованого спектру, як метод підвищення функціональності створюваного комплексу.

Методика. Комплексний підхід, який поєднує специфічні джерела випромінювання з унікальними елементами дорожнього покриття для створення безпечної пішохідної зони. Інноваційне впровадження сучасних альтернатив джерел енергії в ділянки з підвищеною потребою живлення, значно підвищуючи ступінь енергоефективності. Сучасний інструментарій комп'ютерних програм із 3Д моделювання відкриває необмежені можливості для створення дизайну моделі автономного комплексу освітлення. Перш за все, ініціатива спрямована на створення безпечних умов для пішоходів, які перебувають у зоні високої аварійності внаслідок суттєвої шкоди енергетичній інфраструктурі країни.

Результати. Комплексна робота над системою дозволила значно знизити аварійність небезпечних ділянок утворених у результаті критичної ситуації з масовим енергопостачанням. Проєкт не обмежується лише вирішенням функціональних задач, але і пропонує унікальне дизайнерське рішення. Даний комплекс значно переважає інші наявні розробки, адже забезпечує автономне замкнуту самостійну систему, включно з енергоживленням. Поєднання ультрафіолетового випромінювання та люмінофорного покриття є інноваційним технічним рішенням та естетично-гармонійним із погляду дизайну.

Наукова новизна. Цей проєкт інтегрує ряд технологій, які раніше застосовувалися, як окремі рішення. Уперше багато технічних компонентів об'єднані для освітлення пішохідного переходу за допомогою єдиного взаємопов'язаного комплексу. Перевага полягає в тому, що ця система є енергонезалежною, що вкрай важливо в сучасному світі. Характерний дизайн, розроблений відповідно до застосованих технологій, вдало поєднується з усіма компонентами комплексу. Встановлення світловідбиваючих покриттів створить додаткові світлові акценти та приверне увагу транспортних засобів до пішохідного переходу.

Практична значимість. Через неналежне освітлення, яке пов'язане з частими відключеннями електроенергії, нині на дорогах трапляється багато аварій. Завдяки синтезу багатьох технологій і розвитку самодоповнюючої системи комплекс зможе сприяти частковому вирішенню поточної проблеми. Масове встановлення даного світлотехнічного комплексу на вулиці міст дасть змогу досягти потрібної освітленості та створити безпечний простір для пішоходів. Перевагами спроектованого дизайну системи освітлення є стійкість та ергономічність самої конструкції. Ультрафіолетові джерела випромінювання будуть створювати не лише саме освітлення, а і слугуватимуть, як підживлення сонячних панелей. Ефективне конструкторське рішення розміщення самих сонячних панелей забезпечують постійний усесторонній доступ природнього світла до них. Запропоновані в роботі використання елементів, що самостійно світяться, а саме флуоресцентної та люмінофорної фарб, створить додаткове світлове рішення, яке покращить видимість для пішохода та водія, а також стане візуально привабливим доповненням самого комплексу.

Ключові слова: автономний світлотехнічний комплекс; джерело УФ-випромінювання; флуоресцентне та люмінофорне покриття; сонячні панелі; світлодизайн.

Вступ. На сьогодні через часті відключення електроенергії в Україні трапляються вимкнення світлофорів та вуличного освітлення, як наслідок виникнення масштабних ДТП. У зв'язку з цим статистика ДТП різко зросла, так лише 7 листопада 2022 року сталося понад

600 дорожньо-транспортних пригод, внаслідок чого загинули семеро людей, а 71 особа дістала травми [1]. Проектування правильного освітлення пішохідних переходів є актуальним в умовах реконструкції автомобільних доріг по всій країні.

При нестабільній роботі джерел освітлення доводиться знаходити нові сучасні рішення. У нашому проекті ми пропонуємо сонячні батареї, як автономні джерела живлення. З іншого боку, батареї не зможуть жити потужний прожектор, який освітлюватиме вулиці, тому ми використовуємо ультрафіолет, який активується через звичайний датчик руху, коли хтось до нього наближається.

У проекті створюється повний комплекс, що включає джерело ультрафіолетового світла, сонячну батарею та ліхтар із підсвічуванням. Таке джерело випромінювання потрібно для створення світіння люмінофорного покриття пішохідного переходу та для роботи акумулятора, який заряджається при освітленні ультрафіолетом.

Проект має закриту енергоефективну систему, оскільки вона не потребує зовнішнього споживання електроенергії, лише сонячне світло. Увімкнення джерела ультрафіолетового світла вирішує багатофункціональну задачу.

У роботі було враховано ряд факторів, які впливають на якість світіння люмінесцентного покриття [2] та визначено найоптимальніший варіант у даній системі.

Використання автономних джерел живлення для освітлення в тому числі і вуличного вже досліджувалося рядом вчених [3]. Було досліджено ефективність сонячних панелей та розроблено вуличні світильники з їх використанням. І хоч дані дослідження були досить ефективними з технічного боку, але вони мають широке поле для розвитку, а саме створення сучасного дизайну та збільшення міцності й ергономічності конструкції. Використання ультрафіолетового випромінювання в освітленні досліджувалося такими вченими: А.О. Семенов, О.М. Дуган, Г.М. Кожушко, С.Г. Кислиця та інші.

Постановка завдання. Розробити світлову систему, яка створить візуальний ефект на дорозі та слугуватиме, як акцентне та декоративне освітлення. Забезпечити автономність живлення системи шляхом використання альтернативних невичерпних енергетичних джерел. Створити сучасний ергономічний дизайн, який буде лаконічно поєднуватися з технологічністю проекту.

Цей проект є критично важливим, оскільки зараз місто втрачає електроенергію, тому надзвичайно важливо підвищити безпеку, наскільки це можливо, використовуючи методи, які не споживають багато енергії.

Результати дослідження. Робота по розробці автономної енергоефективної системи освітлення пішохідного переходу проводилася по трьом основним напрямках:

1. Поєднання різних видів випромінювання для створення системи освітлення зони пішохідного переходу. Для цього використовувалися джерело загального спектру, що слугує основним вуличним освітленням; елемент з ультрафіолетовим випромінюванням та люмінесцентне покриття, як компонент дорожньої розмітки.

2. Забезпечення автономності живлення системи.

3. Створення відповідного ергономічного дизайну використовуючи актуальні новітні тенденції вуличного світлодизайну.

Конструкція розробленої системи складається з: основного джерела світла, опори, елемента з УФ-випромінюванням, сонячних панелей з акумуляторними батареями та люмінесцентного покриття. Система вирішує проблему нестабільності енергопостачання, яка існує сьогодні в нашій країні. Також, створений проект має на меті підвищити візуальний світловий контраст у небезпечних зонах.

На рис. 1 зображена 3Д-модель автономної системи освітлення пішохідних переходів із позначенням усіх конструктивних елементів та їхніх назв. Для проектування даної розробки

використовувалася комп'ютерна програма Blender, оскільки вона має широкий функціонал для створення тривимірних об'єктів і просторів, що дозволяє візуалізувати креативні дизайнерські ідеї.

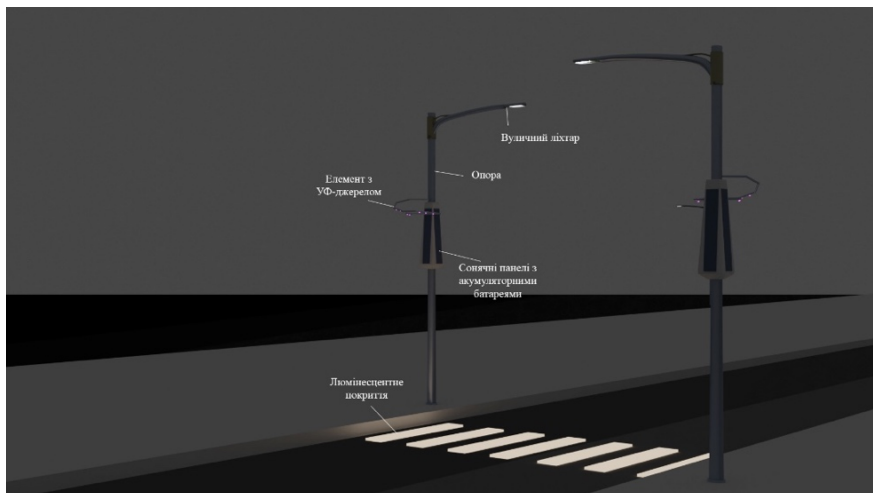


Рис. 1. Складові автономної системи освітлення пішохідного переходу

Згідно з правилами дорожнього руху кожен автомобіль повинен пригальмувати при наближенні до пішохідного переходу, однак це робиться не завжди й це пов'язано з недостатньою освітленістю переходу. Люмінофорна частина дорожнього маркера продовжуватиме світитися, навіть якщо поблизу нікого немає, що інформуватиме водіїв про пішохідний перехід. Для усвідомлення необхідності повної зупинки водій має зафіксувати появу людини в даній зоні, в чому йому допоможе ультрафіолетове випромінювання, яке освітлює пішохода в зоні очікування.

Оскільки через фізичні властивості ультрафіолет є невидимим для людини, джерела світла з уф-променями створюють із використанням крайнього видимого спектру. Завдяки цьому створюється візуальний світловий ефект, що слугуватиме не лише підвищенню функціональності, а і зміні зовнішнього вигляду готових пристроїв. Використання такого спеціалізованого випромінювання створить широке поле для створення креативного сучасного дизайну.

На сьогодні вже почали створювати різні види ламп, що містять ультрафіолетове випромінювання, які у своєму функціоналі використовують його особливості. Світильники з використанням ультрафіолету відрізняється від звичайного перш за все зовнішнім виглядом та безпосередньо спектром випромінювання. У таких лампах спектр випромінювання містить і довжини хвиль ультрафіолету (200–400 нм) і крайні видимі для людини (400–500 нм), у результаті чого, людина може спостерігати візуальний ефект – кольорове світло.

Ультрафіолетове випромінювання можна застосовувати в різних напрямках освітлення, включаючи й зовнішнє освітлення. УФ-лампи пропонують енергоефективне, яскраве світло в багатьох галузях промисловості таких, як виробництво, виробництво чистих приміщень або зон, перевірка якості та багато інших застосувань, які потребують добре освітленого середовища.

За рахунок того, що під ультрафіолетом різні біологічні елементи випромінюють невелике біле світіння, можна створити певний світловий акцент та привернути увагу. Саме ця властивість даного випромінювання стала основою для його використання у якості додаткового освітлення в зоні пішохідного переходу. Також ультрафіолет супроводжується синьо-фіолетовим світлом, що є відмінним по кольору від загального вуличного освітлення.

Освітлення створюється не лише джерелами світла, що вимагають електричного живлення, а і світловими елементами такими, як люмінесцентне покриття.

Залежно від типу використовуваного флуоресцентного пігменту фарби, що світяться, поділяють на флуоресцентні, люмінесцентні або світловідбиваючі. Люмінесцентні фарби виділяють зібрану світлову енергію в темряві; світловідбиваючі фарби використовуються для дорожньої розмітки та дорожніх знаків; флуоресцентні фарби сяють лише в ультрафіолетовому світлі. Фосфоресцентні фарби, що світяться в темряві містять шкідливий фосфор; однак в останні роки фосфор замінили люмінофором [4].

Поряд із явищем природного світіння сучасні люмінесцентні покриття мають практично ідентичний ефект. Іншими словами, відповідно до їхнього основного принципу, вони поглинають енергію, а потім її випромінюють. І при денному світлі, і під впливом УФ-випромінювання ці світлові компоненти сяють.

Люмінофор – унікальний пігмент, який використовується в люмінесцентних фарбах. Цей пігмент функціонує, як акумулятор, накопичуючи світло та випромінюючи світло в темряві. Фарбі потрібно лише від 15 до 40 хвилин, щоби «зарядитися» від природного або штучного світла та почати сяяти до 8 годин. Неважливо, скільки часу світиться поверхня під дією світла, півгодини чи цілий день. В обох ситуаціях тривалість дії буде однаковою [5].

Флуоресцентна фарба під назвою «Сигнальна флуоресцентна фарба для бетону» призначена для використання на мінеральних поверхнях на відкритому повітрі. Приклади використання такої фарби зображено на рис. 2. На бетонній поверхні ця фарба висихає, утворюючи міцне захисне покриття. Цей шар має дуже яскравий колір. Кольори сигналів використовуються для позначення місць із високим рівнем аварій або для гарантування безпеки промислових секторів. Флуоресцентна фарба для бетону стійка до погодних умов і механічних навантажень. Більшу частину складу фарби становить двокомпонентна акрилова основа з унікальним додаванням флуоресцентного порошку [6].



Рис. 2. Приклади застосування флуоресцентної фарби

Перший у світі освітлений перехід зебри, що привертає увагу та є екологічно вигідним рішенням для зменшення ризиків дорожнього руху, створений у голландському місті Ербек. Starpath – це поверхнева обробка доріжок, яка збирає сонячну енергію вдень і вивільняє її вночі, завдяки чому частинки на рівні землі виблискують. Ця фарба є екологічною заміною вуличному освітленню та ідеально підходить для використання на велосипедних доріжках завдяки своїм властивостям проти ковзання [7].

Цей продукт реагує на природне освітлення, а саме, коли навколишній простір темніше, то світла стає більше, а якщо світліше, то навпаки. Дана властивість може виконувати функцію

додаткового джерела випромінювання до вже існуючих світлотехнічних систем. Продукт швидко й легко адаптується під уже існуючі дорожні покриття [7].

На рис. 3 зображено приклад використання люмінесцентних елементів у вигляді пішохідного переходу для доповнення дорожнього простору. В результаті застосування такого покриття було зафіксовано збільшення уваги учасників дорожнього руху та відповідно підвищено безпеку даної ділянки міського простору.



Рис. 3. Приклад застосування люмінесцентних елементів для пішохідного переходу

На естакадах, тунелях, шахтах, підземних коридорах і метро флуоресцентні фарби використовуються для створення когнітивних позначок; наклейки, що світяться в темряві, направляють відвідувачів під час дослідження печер; тощо [8]. Візьмемо, наприклад, перший велосипедний маршрут у Польщі, який світить вночі завдяки сонячному світлу, яке збирається впродовж дня (рис. 4). Явище люмінесценції пов'язане з особливостями речовини, яка використовується для створення треку. Він передбачає поглинання видимого світла, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання з простору. Також ця інновація підвищує безпеку водіїв уночі [8].

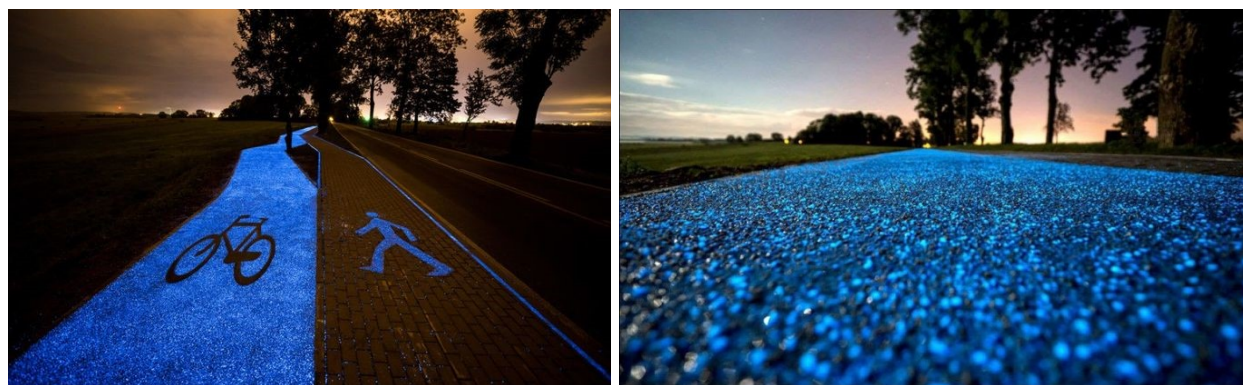


Рис. 4. Метод застосування люмінофорного елемента в Польщі

Також люмінесцентні покриття використовуються, як дорожні покажчики, наприклад, в Нідерландах уже є такі елементи, які використовуються, як альтернатива нічному освітленню. Дана фарба пройшла численні етапи розробки, була перевірена на довговічність і показала, що добре функціонує в реальних умовах. Крім того, Україна застосувала люмінесцентну фарбу, зокрема, на трасі Київ-Чоп (рис. 5) [9].

У 2015 році на вулицях Леннокса та Лібертона, США тестували світловий пішохідний перехід із широкими білими та флуоресцентними жовтими лініями, які можна було побачити

на відстані 92 м. Мета смуги на пішохідному переході – попередити водіїв про те, що він дійсно є, а саме такі смуги підвищують рівень обережності. Щоб змінити поведінку водіїв, важливо підвищити видимість та усвідомлення наявності пішохідних переходів. Водії повинні бути більш обізнаними щодо них і мати більше часу, щоб зменшити швидкість і відреагувати [10]. На рис. 6. зображено пішохідний перехід із таким покриттям.

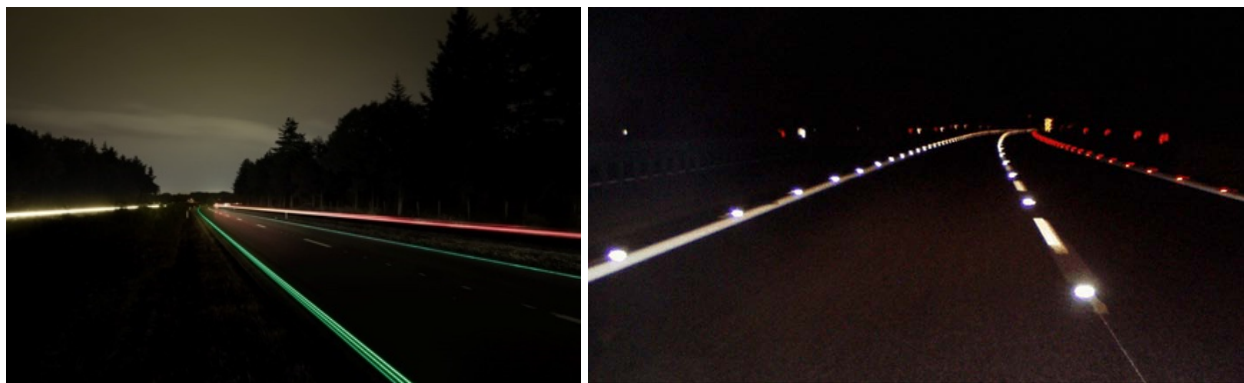


Рис. 5. Приклад використання люмінесцентної розмітки на дорозі



Рис. 6. Приклад експериментального дослідження варіанту флуоресцентного переходу

Якщо досліджувати питання кольору, то варто проаналізувати інтенсивність світла на різних довжинах хвиль для люмінесцентного пішохідного переходу. У фарбі, що використовується для покриття доріг присутні світловідбиваючі скляні кульки. Явище відбивання світла мікрочастинками досліджується за допомогою рефлектометрії. Кожний квадратний метр фарби повинен відбивати 150 мілікандел світла при освітленні в 1 люкс.

На попередньому зображенні (рис. 7) зебри добре видно, що фарба на підлозі виглядає значно менш яскравою, ніж дорожній знак. Це пояснюється тим, що чутливість очей знижується, коли світло жовте, а не, наприклад, синьо-зелене. Незважаючи на те, що інтенсивність світла однакова для всіх відтінків, чутливість ока до кольорів досягає максимуму в синьо-зеленому спектрі [11]. Це підтверджує діаграма залежності довжини хвилі випромінювання та чутливості ока, що зображена на рис. 8. Аналіз показав, що більшість розміток на пішохідному переході пофарбовані в білий колір.



Рис. 7. Варіант застосування люмінесцентного пішохідного переходу

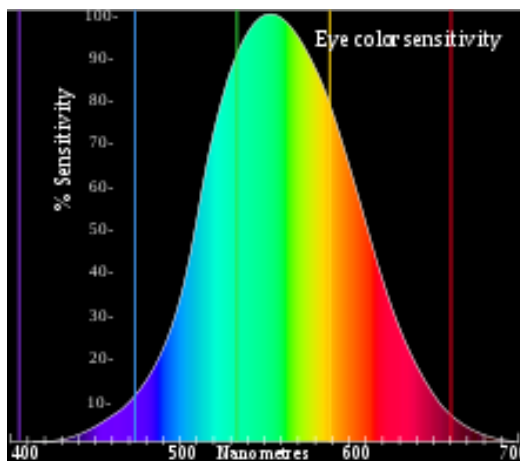


Рис. 8. Діаграма чутливості ока до світла різних кольорів

У даному проєкті джерелами автономного живлення виступають сонячні батареї. Сонячні панелі перетворюють сонячну енергію в електрику. Відбувається цей процес наступним чином: сонячне світло активує фотоелектричні перетворювачі, які генерують струм і накопичують його в батареях.

Сонячні панелі є збірними конструкціями, розміри яких впливають на потужність у виробленні електроенергії. Модульна система здатна варіювати розміри панелей залежно від необхідної потреби. Їх універсальність пояснюється тим, що їх можна встановлювати в будь-якому кліматі, хоч їх ефективність залежить від погодних умов. Адже в Україні в зимовий час виробляється в 4–5 разів менше електроенергії, ніж влітку. Взагалі, територіальне розташування України та її кліматичного поясу вдало підходить для встановлення та застосування сонячних електростанцій.

Переваги сонячних панелей обґрунтували вибір автономного джерела живлення. Раніше запропоновані конструкції сонячних панелей мали ряд недоліків серед яких: погана міцність конструкції, одностороння спрямованість панелі, непостійне потрапляння сонячних променів протягом світлового дня, неергономічний дизайн. На рис. 9 зображено існуючі аналоги запропонованих рішень.

Розроблена в даній роботі конструкція вирішує перераховані недоліки. Розташування спроектовано таким чином, щоби забезпечити оптимальну стійкість конструкції та максимальний доступ сонячного світла до її поверхні. Водночас сонячні панелі розташовані з чотирьох сторін опори лампи під кутом близько 75 градусів. Оскільки немає рухомих частин,

сонячні панелі можуть прослужити 30 років і більше. Сонячних модулів достатньо, щоби забезпечити роботу та енергонезалежність.



Рис. 9. Приклади аналогів джерел світла

На рис. 10. зображено приклад розробленої системи освітлення в дії.

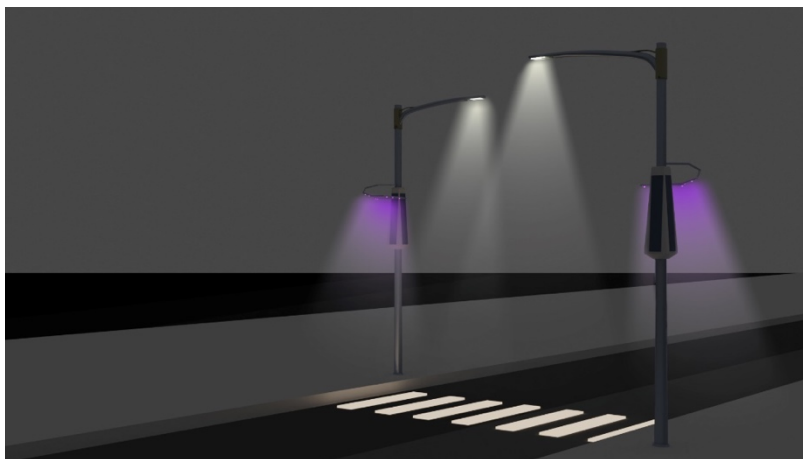


Рис. 10. 3Д-модель автономної системи освітлення пішохідного переходу спроектована в програмі Blender

Ультрафіолетове джерело спрацьовує, коли пішохід наближається до встановленого датчика руху, освітлюючи його, а також люмінесцентне покриття та дорогу. Зворотний відлік для вимкнення джерела світла розпочнеться після того, як людина з'являється в зоні дії датчику руху [12]. Завдяки поглиненій енергії люмінесцентне покриття все одно буде яскраво світитися навіть за відсутності джерел випромінювання.

Наразі існуюче освітлення та фари водіїв не матимуть потрібного впливу на люмінофор. Ультрафіолетове світло є відповіддю на цю проблему, оскільки воно освітлює поверхню, роблячи все одразу видимим, коли хтось наближається до джерела світла, і воно вмикається.

Висновки. Запропоновано використання енергоефективної автономної системи для освітлення пішохідних переходів, як важливої складової інфраструктури міста. Було розроблено автономний комплекс освітлення для пішохідного переходу. Суттєвою перевагою проекту є універсальність, що дозволяє встановлювати дану систему на вже існуючі конструкції освітлення таких зон.

Розглянуто технологію створення люмінесцентного покриття для використання у якості освітлення. Обґрунтовано доцільність впровадження сонячних панелей в якості автономного джерела живлення комплексу. Для отримання максимальної ефективності роботи системи енергопостачання був розроблений відповідний дизайн конструкції.

Застосування різних видів випромінювання створює енергоефективний комплекс із замкненим циклом перетворення енергії. У роботі обґрунтовано доцільність використання даного комплексу. Він значно знизить споживання електроенергії, що є особливо актуальним у нинішній ситуації.

References

Література

1. Na dorohakh Ukrainy protiahom doby stalos ponad 600 DTP – MVS [Over 600 traffic accidents occurred on the roads of Ukraine during the day – Ministry of Internal Affairs]. URL: <https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/2022/1109-na-dorogah-ukrayiny-protyagom-doby-stalos-ponad-600-dtp-mvs/> [in Ukrainian].
2. Bi, Y., Pei, J., Chen, Z. (2021). Preparation and characterization of luminescent road-marking paint. *Int. J. Pavement Res. Technol.* 14., 252–258. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0229-3>.
3. Malushenko, A. S. (2022). Rozrobka svitylnyka dla vulychnoho osvittennia iz avtonomnym zhyvlenniam na osnovi fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv soniachnoi enerhii [Development of a lamp for street lighting with autonomous power based on photoelectric converters of solar energy: bachelor's qualification work]. Ternopil: TNTU. 58 p. [in Ukrainian].
4. Liuminofor – tse svitlonakopychuiuchy pihment [Luminophore is a light-accumulating pigment]. "EPOXY RESIN SLAB and HOBBY company "Ероху Україна". URL: <https://hobby.kiev.ua/a290960-lyuminofor-eto-svetonakopitelnyj.html> [in Ukrainian].
5. Kasparova, M., Chebotarova, I. Liuminestsentni ta fluorestsentni farby dla oformlennia polihrafichnoi produktsii [Luminescent and fluorescent paints for the design of printing products.] *Print multimedia & web.* P. 49–50. URL: <https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/20389/1/KasCheb4950.pdf> [in Ukrainian].
6. Signal fluorescent paint for concrete. Official site FABRAVA. URL: <https://fabrava.com/signal-fluorescent-paint-for-concrete>.
7. Luminous zebra crossing glows all night. (2016). URL: <https://www.eta.co.uk/2016/11/28/luminous-zebra-crossing/>
8. Biggs, J. (2016). Poland builds a solar-powered bike path that glows a ghostly blue. URL: <https://techcrunch.com/2016/10/07/poland-builds-a-solar-powered-bike-path-that-glows-a-ghostly-blue/>
9. LKQ ELIT (2018). Shumova ta liuministsentna rozmitka na dorohakh Ukrainy? [Noise and fluorescent markings on roads of Ukraine?]. LKQ ELIT. 2018. URL: <https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/2022/1109-na-dorogah-ukrayiny-protyagom-doby-stalos-ponad-600-dtp-mvs/>
1. На дорогах України протягом доби сталося понад 600 ДТП – МВС. URL: <https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/2022/1109-na-dorogah-ukrayiny-protyagom-doby-stalos-ponad-600-dtp-mvs/>
2. Bi Y., Pei J., Chen Z. Preparation and characterization of luminescent road-marking paint. *Int. J. Pavement Res. Technol.* 2021. 14. P. 252–258. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0229-3>.
3. Малушенко А. С. Розробка світильника для вуличного освітлення із автономним живленням на основі фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії: кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 58 с.
4. Люмінофор – це світлонакопичуючий пігмент. "СМОЛА ЕПОКСИДНА SLAB та HOBBY компанія "Епоксі Україна". URL: <https://hobby.kiev.ua/a290960-lyuminofor-eto-svetonakopitelnyj.html>.
5. Каспарова М., Чеботарьова І. Люмінесцентні та флуоресцентні фарби для оформлення поліграфічної продукції. *Print multimedia & web.* С. 49–50. URL: <https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/20389/1/KasCheb4950.pdf>.
6. Signal fluorescent paint for concrete. Official site FABRAVA. URL: <https://fabrava.com/signal-fluorescent-paint-for-concrete>.
7. Luminous zebra crossing glows all night. 2016. URL: <https://www.eta.co.uk/2016/11/28/luminous-zebra-crossing/>
8. Biggs J. Poland builds a solar-powered bike path that glows a ghostly blue. 2016. URL: <https://techcrunch.com/2016/10/07/poland-builds-a-solar-powered-bike-path-that-glows-a-ghostly-blue/>
9. Шумова та люмінесцентна розмітка на дорогах України? LKQ ELIT. 2018. URL: <https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/2022/1109-na-dorogah-ukrayiny-protyagom-doby-stalos-ponad-600-dtp-mvs/>

the roads of Ukraine?]. URL: <https://www.elit.ua/news-and-stock/news/2716-shumova-ta-lyuminiscentna-rozmitka-na-dorogah-ukrayini/> [in Ukrainian].

10. Ma, K. (2015). City tests fluorescent crosswalk. URL: <https://www.stalberttoday.ca/local-news/city-tests-fluorescent-crosswalk-1289947>.

11. Which color is better for a pedestrian crossing, yellow or white? Official site Quora. URL: <https://www.quora.com/Which-color-is-better-for-a-pedestrian-crossing-yellow-or-white>.

12. Ivanova, M. S., Oleinikova, I. V. (2021). Intelktualna systema upravlinnia v osvittenni pishokhidnykh perekhodiv dlia pidvyshchennia enerhoefektyvnosti [Intelligent control system in the lighting of pedestrian crossings to increase energy efficiency]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*, 3: 9–17. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.1> [in Ukrainian].

<https://www.elit.ua/news-and-stock/news/2716-shumova-ta-lyuminiscentna-rozmitka-na-dorogah-ukrayini/>

10. Ma K. City tests fluorescent crosswalk. 2015. URL: <https://www.stalberttoday.ca/local-news/city-tests-fluorescent-crosswalk-1289947>.

11. Which color is better for a pedestrian crossing, yellow or white? Official site Quora. URL: <https://www.quora.com/Which-color-is-better-for-a-pedestrian-crossing-yellow-or-white>.

12. Іванова М. С., Олейнікова І. В. Інтелектуальна система управління в освітленні пішохідних переходів для підвищення енергоефективності. *Технології та інжиніринг*. 2021. №3. С. 9–17. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.1>.

DZIKEVYCH ANNA

Department of Design, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3661-324X>
E-mail: adzikevich22@gmail.com

IVANOVA MARHARYTA

Department of Design, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7484-7317>
E-mail: ukrainianpaintress@gmail.com

OLEINIKOVA IRYNA

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor,
Department of Applied Physics and Higher Mathematics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1756-5203>
Scopus Author ID: 57191975872
E-mail: olejnikova.iv@knuvd.com.ua

DZIKEVYCH A. V., IVANOVA M. S., OLEINIKOVA I. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**THE DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS, ENERGY-EFFICIENT
PEDESTRIAN CROSSING LIGHTING COMPLEX**

Purpose. Justification and design of a self-contained complex for a pedestrian crossing with increased energy efficiency. Introduction of alternative energy sources with appropriate design. Application of fluorescent and phosphor coatings to create a single autonomous and safe system. Use of specialised spectrum light sources as a method of enhancing the functionality of the built complex.

Methodology. The comprehensive approach, which combines specific radiation sources with unique pavement elements to create a safe pedestrian zone. Innovative introduction of modern alternative energy sources in areas with higher power demand, significantly increasing energy efficiency. Modern computer software tools with 3D modeling offer unlimited possibilities for the design of a model autonomous lighting complex. Above all, the initiative aims to create a safe environment for pedestrians in the high-crash area due to the significant damage to the country's energy infrastructure.

Findings. *The comprehensive work on the system has significantly reduced the hazardous areas created by the critical mass energy supply situation. The project is not limited to solving functional problems, but also offers a unique design solution. The complex is far superior to other designs available, as it provides a self-contained system, including a power supply. The combination of ultraviolet light and phosphor coating is an innovative technical solution and aesthetically harmonious in terms of design.*

Originality. *This project integrates a variety of technologies previously used as standalone solutions. For the first time, many technical components are combined to illuminate a pedestrian crossing through a single interconnected complex. The advantage is that the system is energy-independent, which is essential in today's world. The characteristic design, based on the technology used, blends in well with all the components of the complex. The installation of reflective coverings will create additional lighting accents and draw the attention of vehicles to the pedestrian crossing.*

Practical value. *Due to inadequate lighting associated with frequent blackouts, there are now many accidents on the roads. Through the synthesis of many technologies and the development of a self-sustaining system, the complex will be able to contribute to a partial solution to the current problem. The mass installation of this lighting complex on city streets will achieve the desired illumination and create a safe space for pedestrians. The benefits of the lighting system's design are its stability and the ergonomics of the structure itself. The UV light sources will not only create the light itself but will also serve as a feed for the solar panels. The efficient design of the placement of the solar panels themselves will ensure that natural light is always fully accessible. The proposed use of self-luminous elements in the work, namely fluorescent and luminophore paint, will create an additional lighting solution that will improve visibility for pedestrians and drivers, as well as being a visually appealing addition to the complex itself.*

Keywords: *self-contained lighting system; UV light source; fluorescent and luminophore coating; solar panels; light design.*

УДК 510.5

КОРОГОД Г. О., ВОЛІВАЧ А. П.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

АЛГОРИТМ І КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ ТА ПАРАМЕТРІВ НЕСТАБІЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ

Метою роботи є розробка алгоритму та комп'ютерної програми, які спрямовані на отримання високоточного значення фізичної величини при нестабільній функції перетворення сенсора, визначення поточних значень параметрів функції перетворення та встановлення їх належності до меж допуску.

Методика: теорія та методи надлишкових вимірювань фізичних величин для коректного використання методології надлишкових вимірювань, теорія похибок для визначення й оцінки похибок, теорія алгоритмів для структурованої побудови алгоритмів, аналітичні методи аналізу процесів перетворення сигналів, методи математичного моделювання та чисельні методи для розв'язання нелінійних рівнянь величин і систем рівнянь величин, методи комп'ютерного аналізу для логічної побудови програмних компонентів.

Результати: запропоновані алгоритм і побудована на її основі комп'ютерна програма для обробки отриманих результатів вимірювань дозволяють: 1) за рівняннями надлишкових вимірювань визначити високоточне значення шуканої фізичної величини, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення; 2) визначити поточні значення параметрів нестабільної функції перетворення; 3) встановити якісні показники відхилень кожного з параметрів функції перетворення сенсора.

Наукова новизна: розроблений алгоритм роботи надлишкових вимірювань при лінійній і нестабільній функції перетворення і його комп'ютерна реалізація створюють можливості для проведення розрахункового експерименту та подальшого дослідження його результатів.

Практична значимість: реалізація алгоритму та комп'ютерної програми з використанням методу надлишкових вимірювань дозволяє безпосередньо проводити ефективні дослідження надлишкових вимірювань при нестабільній функції перетворення сенсора та визначати високоточне значення шуканої фізичної величини. Крім того, завдяки визначенню поточних значень параметрів функції перетворення стає можливим визначення метрологічної надійності сенсора із заданими відхиленнями.

Ключові слова: алгоритм; нестабільність функції перетворення; надлишкові вимірювання; комп'ютерна програма; параметри функції перетворення.

Вступ. Розвиток сучасної вітчизняної промисловості потребує підвищення якості товарів при одночасному зниженні витрат на їх виробництво. Важливою умовою отримання високоякісної продукції є дотримання встановлених технічних умов, використання високоякісної сировини, а також застосування високоточних засобів і методів вимірювання. Для інженерів особливий інтерес мають засоби та методи вимірювання. Для отримання високоточного результату однією з основних умов є підвищення точності вимірювань сенсора (датчика). Це обумовлено фізичною суттю сенсора, який перетворює вхідну контрольовану фізичну величину у вихідний електричний сигнал сенсора з метою подальшої його обробки. Таким чином, від точності такого перетворення буде залежати точність самого вимірювання. Слід зазначити, що особливу увагу слід приділити питанню підвищення точності в умовах нестабільності параметрів функції перетворення (ФП) сенсора. Це обумовлено тим, що під впливом зовнішніх факторів навколишнього середовища відбуваються зміни параметрів ФП та їх відхилення від номінальних значень, що також призводить до зниження точності вимірювання. Додаткове визначення поточних параметрів ФП сенсора, в свою чергу, дає також можливість здійснення метрологічного контролю сенсора. Отже, при розв'язанні задачі по підвищенню точності при нестабільній ФП сенсора необхідно встановити послідовності дій процесу вимірювання і відповідної їх програмної реалізації. Все це стає передумовою для розрахункового експерименту при дослідженні результатів вимірювання.

Таким чином, актуальними слід вважати дослідження, які направлені на програмну реалізацію алгоритму по визначенню високоточного значення фізичної величини та поточних параметрів нестабільної функції перетворення сенсора.

Питаннями щодо підвищення точності вимірювання займався ряд світових науковців і дослідників. Так в роботі [1] наведено алгоритм обчислювань для досягнення покращення вихідного сигналу сенсора. В роботі [2] для ефективного отримання достовірної інформації від масиву датчиків газу запропоновано застосування апаратної обробки даних (аналоговий інтерфейс). Дослідження, що наведені в роботі [3], вказують на підвищення точності шляхом застосування адитивного та мультиплікативного тестів, які реалізуються, відповідно, за рахунок ведення зразкової міри та зміни чутливості вимірювального каналу. Для підвищення точності за рахунок зменшення впливу адитивної складової похибки на результат вимірювання в роботі [4] запропоновано зменшення впливу темного струму і компенсації власних шумів вимірювального каналу радіометричного вимірювача. Показано, що такий результат було досягнуто за рахунок відповідної обробки сигналів опорного і вимірювального фотодіодів, що призводить до виключення власних шумів фотоприймача і зменшення впливу їх темнових струмів. Однак, в роботі не було розглянуто питання зменшення впливу чутливості фотоприймача. В роботах [5, 6] було розглянуто питання збільшення чутливості фотоприймача. Проте, в даній роботі не враховується вплив зміни параметрів ФП на результат вимірювань. Теоретичні аспекти зменшення систематичної і випадкової складових похибки вимірювань були розглянуті в роботі [7]. В роботі [8] зменшення перехресних завад досягалося шляхом отримання індивідуальних значень опорів резисторів в масиві датчиків. Незважаючи на практичну значущість отриманих результатів в достатній мірі не розглядалися питання, що пов'язані з нестабільністю ФП сенсора при одночасній можливості проведення його метрологічного самоконтролю. Варіантом вирішення даного питання щодо підвищення точності при нестабільній ФП можуть бути рекомендовані методи надлишкових вимірювань. Так, основні теоретичні аспекти надлишкових методів було розглянуто в роботі [9]. Подальше дослідження методів надлишкових вимірювань було наведено в роботах [10–13], де завдяки використанню рівняння надлишкових вимірювань досягається отримання результату вимірювання, яке не залежить від параметрів ФП сенсора та їх відхилень від номінальних значень. Крім того, продемонстрована можливість визначення поточних значень параметрів ФП. Однак, для проведення розрахункових експериментів та подальшого дослідження методу надлишкових вимірювань не була представлена комп'ютерна реалізація алгоритму визначення високоточного значення фізичної величини та параметрів нестабільної ФП.

Таким чином, неможливість для користувача у дослідженні нестабільної ФП сенсора при застосуванні надлишкових вимірювань обумовлюють необхідність у розробці відповідного алгоритму та комп'ютерної програми.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка алгоритму та комп'ютерної програми, що спрямовані на отримання високоточного значення фізичної величини при нестабільній лінійній ФП сенсора, визначення поточних значень параметрів ФП та встановлення їх належності до меж допуску. Це дозволить користувачу при дослідженні ФП сенсора отримувати результат вимірювання фізичної величини, що не залежить від параметрів лінійної ФП та їх відхилень від номінальних значень, робити висновки про метрологічну надійність сенсора і підбирати такі межі допуску кожного параметра, в яких результат буде мати придатні значення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1) використовуючи методи надлишкових вимірювань розробити алгоритм послідовності дій по визначенню:

- шуканої фізичної величини;
- параметрів нестабільної лінійної ФП сенсора;
- встановлення належності параметрів ФП до меж допуску;

2) представити комп'ютерну реалізацію запропонованого алгоритму.

Результати дослідження. Розглянемо функціональну залежність на прикладі лінійної та нестабільної функції перетворення сенсора:

$$y_l = S_l x_i + \Delta y \quad (1)$$

де y_l – сигнал на виході сенсора;

x_i – шукана фізична величина;

S_l – чутливість перетворення лінійної складової ФП;

Δy – зміщення ФП з урахуванням адитивної складової похибки.

Однак, з часом під впливом зовнішнього середовища відбувається відхилення параметрів (S_l та Δy) від їх номінальних значень, що призводить до зниження точності вимірювань. Тобто отримують значення шуканої фізичної величини із похибкою, що викликана нестабільністю параметрів ФП. Для вирішення задачі з підвищення точності вимірювання при нестабільній ФП з можливістю проведення самоконтролю параметрів ФП датчика були рекомендовані методи надлишкових вимірювань [9–13]. Для своєї реалізації надлишкові вимірювання вимагають проведення додаткових тактів вимірювання, в яких, крім шуканої величини, відбувається вимірювання і нормованої за значенням величини, яка з шуканою є однієї фізичної природи. В результаті таких тактів вимірювань отримують систему рівнянь величин, подальше рішення якої дає можливість вивести рівняння надлишкових вимірювань шуканої величини та параметрів ФП. Причому кількість рівнянь системи залежить від кількості невідомих параметрів ФП. Оскільки, рівняння (1) має три невідомі (x_i , S_l , Δy), то необхідно скласти систему з 3х рівнянь величин. Для цього використовують номінальну за значенням величину x_1 . В результаті, система рівнянь величин буде мати вид:

$$\begin{cases} y_{l1} = \Delta y; \\ y_{l2} = S_l x_1 + \Delta y; \\ y_{l3} = S_l x_i + \Delta y. \end{cases} \quad (2)$$

В результаті рішення системи надлишкових вимірювань (2) отримують рівняння шуканої величини

$$x_i = x_1 \frac{(y_{l3} - y_{l1})}{(y_{l2} - y_{l1})} \quad (3)$$

і параметрів ФП:

$$S_l = \frac{(y_{l2} - y_{l1})}{x_1} \quad (4) \quad \text{та} \quad \Delta y = y_{l1} \quad (5)$$

Як видно з рівняння (3), отриманий результат шуканої величини x_i не залежить від параметрів ФП (S_l та Δy) та їх відхилень від номінальних значень. Крім того, завдяки рівнянням надлишкових вимірювань параметрів ФП (4) та (5) стає можливим визначати поточні значення параметрів ФП, що дає передумови для визначення метрологічної надійності сенсора. На основі запропонованої математичної моделі було розроблено алгоритм і відповідна комп'ютерна програма визначення шуканої фізичної величини [14, 15]. Алгоритм, що наведений на (рис. 1) складається з двох блоків таких, як високоточне визначення значення шуканої фізичної величини, визначення поточних значень параметрів нестабільної ФП та блоку перевірки на метрологічну придатність сенсора, що структурований на два підблоки: придатність параметра S_l і параметра Δy .

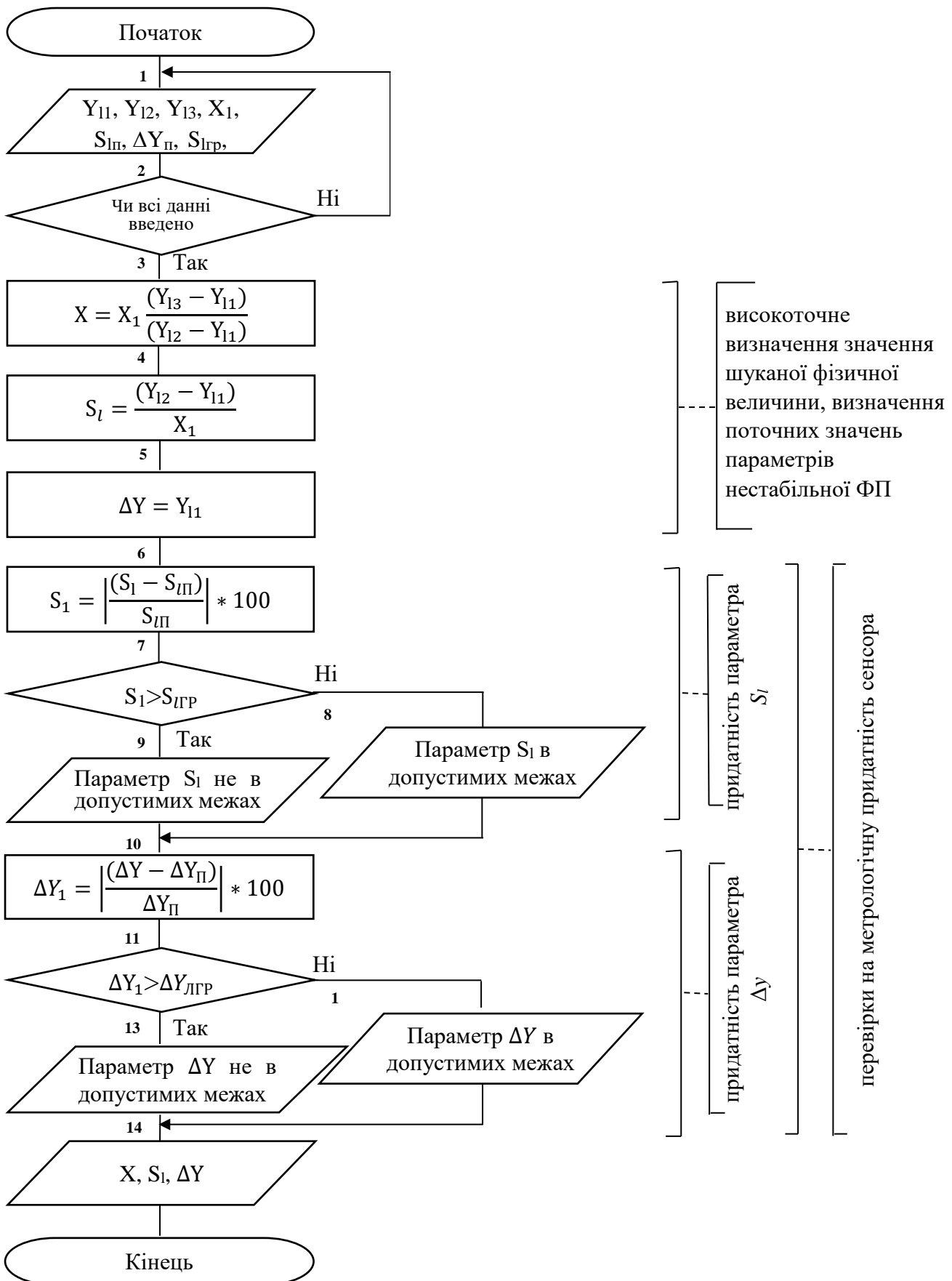


Рис. 1. Алгоритм
 23

Відомо, що для обробки будь-якої інформації необхідно спочатку провести перевірку щодо внесення всіх необхідних даних, тобто заповнення всіх полів для вводу y_{11} , y_{12} , y_{13} , x_1 , S_{ln} , Δy_n . Крім того, користувачу необхідно ввести допустимі відхилення параметрів S_{lzp} та Δy_{zrp} . Таким чином, згідно з запропонованим алгоритмом на першому та другому кроках передбачено введення даних та процедуру перевірки на введення непустих даних (y_{11} , y_{12} , y_{13} , x_1 , S_{ln} , Δy_n , S_{lzp} , Δy_{zrp}). На другому кроці у випадку пустих полів буде з'являтися відповідне повідомлення системи. Третім кроком, що входить до складу першого блоку алгоритму, є визначення значення шуканої фізичної величини при нестабільній лінійній ФП згідно з рівняння надлишкових вимірювань. Наведене рівняння забезпечує автоматичне виключення систематичних складових похибок результату вимірювання: за рахунок операції віднімання вихідних значень (y_{11} , y_{12} , y_{13}) – виключається адитивна складова похибки, а за рахунок ділення різниць відповідних вихідних сигналів – мультиплікативна складова. В результаті чого отримується значення шуканої ФВ, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення. Четвертим та п'ятим кроками є визначення за рівнянням надлишкових вимірювань поточних значень відповідних параметрів нестабільної лінійної ФП – S_l та Δy . Слід зазначити, що параметр S_l представляє собою чутливість (крутизну) перетворення лінійної складової ФП, тобто є мультиплікативною складовою похибки, а Δy_n – зміщення ФП з урахуванням адитивної складової похибки.

Блок перевірки на метрологічну придатність сенсора (другий блок алгоритму) складається з перевірки на метрологічну придатність параметра S_l та параметру Δy . Перевірка на метрологічну придатність параметра S_l включає в себе наступні процедури: крок шість – введення додаткового параметру S_1 , яке представляє собою відхилення знайденого параметра S_l (знайденого в кроці три) від його нормованого (паспортного) заданого значення S_{ln} , і яке виражене у відсотках; крок сім – порівняння отриманого значення параметру S_1 з заданим граничним відхиленням параметра S_{lzp} , вираженим у відсотках. Далі, на основі порівняння отриманих результатів видається повідомлення про належність даного параметру до допустимих меж (крок вісім) або неналежність (крок дев'ять). Перевірка на метрологічну придатність параметру Δy включає в себе аналогічні попередні процедури: крок десять – введення додаткового параметру Δy_1 , яке представляє собою відхилення знайденого параметра Δy (що наведено в кроці три) від його нормованого (паспортного) заданого значення Δy_n , і яке виражене у відсотках; крок одинадцять – порівняння отриманого значення параметру Δy_1 з заданим граничним відхиленням параметра Δy_{zrp} , вираженим у відсотках та отримання інформації про належність даного параметру до допустимих меж (крок дванадцять) або неналежність (крок тринадцять). Виконання цих процедур по метрологічній придатності дозволяє визначити, який з параметрів зазнає більшого впливу від оточуючого середовища і який з цих параметрів виходить за зазначені межі допуску. При цьому особливу увагу слід приділити вибору граничних відхилень параметрів S_{lzp} і Δy_{zrp} . Це пов'язано з тим, що дані процедури безпосередньо впливають на метрологічну придатність сенсора в цілому.

Завершальним кроком алгоритму є отримання високоточного значення шуканої ФВ, яке не залежить від змін параметрів ФП під дією дестабілізуючих факторів, а також поточних значень параметрів ФП (S_l , Δy) (крок чотирнадцять).

Перевагою даного алгоритму є те, що він спрямований на отримання високоточного значення шуканої ФВ при нестабільній лінійній ФП, визначення поточних значень параметрів ФП (S_l , Δy), а також на встановлення належності або не належності параметрів S_l , Δy до відповідних граничних меж допуску.

На основі наведеного алгоритму була розроблена відповідна комп'ютерна програма. Програма написана об'єктно-орієнтованою мовою програмування сценаріїв з синтаксисом – JavaScript. У програмному додатку був використаний гіпертекстовий процесор HTML.

Обчислення ЛФП

Файл | D:/КНУТД/АвторСвід/ЛФП/Лін.html

Сервисы Gmail YouTube Карты Editorial Manager® Submissions Новая вкладка

Обчислення значення шуканої величини при лінійній функції перетворення
 $y_i = S_i x_i + \Delta y$

за допомогою методу надлишкових вимірювань:

$$\begin{cases} y_{i1} = \Delta y \\ y_{i2} = S_i x_i + \Delta y \\ y_{i3} = S_i x_i + \Delta y \end{cases}$$

Введіть вихідні дані сенсора $y_{i(i)}$:

y_{i1} :
 y_{i2} :
 y_{i3} :

Введіть значення нормованої за значенням величини x_1 :

x_1 :

Введіть паспортні данні сенсора (S_{in} та Δy_n):

Значення параметру S_{in} =
Значення параметру Δy_n =

Введіть значення допустимого відхилення параметру S_{izr} у відсотках (%)
Введіть значення допустимого відхилення параметру Δy_{zr} у відсотках (%)

Почати обчислення

Значення шуканої величини дорівнює x_i =

Значення параметру S_i дорівнює =

Значення параметру Δy дорівнює =

Чи параметр S_i в межах допуску?
Чи параметр Δy в межах допуску?

Рис. 2. Вікно для обчислень

Першим кроком програми є занесення вихідних даних сенсора $y_{i(i)}$. Для цього спочатку заносяться результати трьох вимірювань (y_{i1} , y_{i2} , y_{i3}), що описують стан роботи сенсору в дискретні моменти часу та представляють собою систему рівнянь надлишкових вимірювань. Згідно із запропонованою системою рівнянь надлишкових вимірювань кожний такт вимірювання описує перетворення як шуканої фізичної величини (ФВ), так і нормованої за значенням величини. В комп'ютерній програмі нормована величина в лінійній ФП позначена змінною x_1 . Дана нормована величина задається користувачем, а її величина обмежуються

максимальним значенням вхідної характеристики сенсора. Крім того, користувач вносить паспортні данні сенсора: параметр S_{ln} – чутливість (крутизна) перетворення лінійної складової ФП; Δy_n – зміщення ФП з урахуванням адитивної складової похибки. Далі необхідно ввести граничні значення відхилень заданих параметрів сенсора (S_{lep} , Δy_{ep}) у відсотках. Отримані значення відхилень параметрів сенсора від їх паспортних даних дозволяють оцінити ступінь придатності сенсора, тобто його метрологічну надійність.

Обчислення ЛФП

Файл | D:/КНУТД/АвторСвід/ЛФП/Лін.html

Сервиси Gmail YouTube Карты Editorial Manager® Submissions

Обчислення значення шуканої величини при лінійній функції перетворення
 $y_i = S_i x_i + \Delta y$

за допомогою методу надлишкових вимірювань:

$$\begin{cases} y_{i1} = \Delta y \\ y_{i2} = S_i x_i + \Delta y \\ y_{i3} = S_i x_i + \Delta y \end{cases}$$

Введіть вихідні дані сенсора $y_{i(i)}$:

y_{i1} :

y_{i2} :

y_{i3} :

Введіть значення нормованої за значенням величини x_1 :

x_1 :

Введіть паспортні данні сенсора (S_{ln} та Δy_n):

Значення параметру S_{ln} =

Значення параметру Δy_n =

Введіть значення допустимого відхилення параметру S_{lep} у відсотках (%)

Введіть значення допустимого відхилення параметру Δy_{ep} у відсотках (%)

Почати обчислення

Значення шуканої величини дорівнює x_i =

Значення параметру S_i дорівнює =

Значення параметру Δy дорівнює =

Чи параметр S_i в межах допуску?

Чи параметр Δy в межах допуску?

Рис. 3. Результат обчислення

Завдяки обробці результатів за рівнянням надлишкових вимірювань забезпечується автоматичне виключення систематичної складової похибки результату вимірювання, що обумовлена зміною параметрів функції перетворення під дією дестабілізуючих факторів. Цю особливість було покладено в основу програмного коду для визначення значення шуканої фізичної величини.

Після внесення всіх необхідних даних, потрібно натиснути на кнопку «Визначити» (рис. 2).

За результатами обчислення програми отримаємо: 1) значення шуканої ФВ, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення; 2) поточні значення параметрів нестабільної лінійної ФП (S_l , Δy); 3) інформацію про попадання або не попадання параметрів S_l та Δy у відповідні межі допуску.

Результат обчислення наведено на (рис. 3).

В прикладі розрахунку (рис. 3) знайдено: 1) значення шуканої фізичної величини при нестабільній лінійній ФП; 2) поточні значення параметрів нестабільної лінійної ФП (S_l та Δy); 3) інформація щодо знаходження в межах допустимих значень параметрів (S_l та Δy).

За результатами розрахунку значення параметру S_l виходить за межі свого допустимого значення, що є сигналом про метрологічну ненадійність сенсора.

Також, в програмі передбачено оновлення форми, що відбувається після натискання на кнопку «Оновити», що знаходиться внизу сторінки (рис. 3).

Фрагмент коду програми наведено нижче:

```
function maxval(obj)
{
var a = Number(obj.num1.value);
var b = Number(obj.num2.value);
var c = Number(obj.num3.value);
var d = Number(obj.num4.value);
var sp = Number(obj.num5.value);
var yp = Number(obj.num6.value);
var sg = Number(obj.num7.value);
var yg = Number(obj.num8.value);
var x;
if (!a) {alert ("Введіть значення ул1"); return a}
if (!b) {alert ("Введіть значення ул2");return b}
if (!c) {alert ("Введіть значення ул3");return c}
if (!d) {alert ("Введіть значення x1");return d}
if (!sp) {alert ("Введіть паспортне значення Slп");return sp}
if (!yp) {alert ("Введіть паспортне значення дуп");return yp}
if (!sg) {alert ("Введіть граничне значення Slрп");return sg}
if (!yg) {alert ("Введіть граничне значення дугр");return yg}
x=d*(c-a)/(b-a);
s=(b-a)/d;
s1=(Math.abs(s-sp)/sp)*100;
if (s1>sg) {s1="параметр НЕ в межах допуску"} else {s1="параметр в межах допуску"};
dy=(Math.abs(a-yp)/yp)*100;
if (dy>yg) {dy="параметр НЕ в межах допуску"} else {dy="параметр в межах допуску"};
obj.res.value=x.toFixed(4);
obj.p1.value=s.toFixed(4);
```

```
obj.sres.value=s1;  
obj.yres.value=dy;  
obj.p3.value=a;  
}
```

Висновки. Запропонований алгоритм і відповідна комп'ютерна програма дозволяє підвищити точність вимірювання шуканої фізичної величини при нестабільній лінійній ФП шляхом використання рівняння надлишкових вимірювань, а також визначити поточні значення параметрів лінійної функції перетворення та робити метрологічну оцінку параметрів ФП сенсора. Отримання поточних значень параметрів ФП сенсора та визначення їх належності до встановлених меж допуску, дає підстави для визначення придатності сенсора та планування організаційно-технічних заходів щодо його заміни. Таким чином, запропонований алгоритм і відповідна програма продемонстрували високу ефективність у проведенні розрахункових експериментів та дослідженні методу надлишкових вимірювань при лінійній нестабільній функції перетворення сенсора.

Однак, не зважаючи на практичну доцільність запропонованого алгоритму і комп'ютерної програми, важливо відмітити, що такі високоточні результати отримуються у випадку, коли за час проведення тактів вимірювань зміни параметрів ФП залишаються сталими. Таким чином, вирішення питання по зняттю цих обмежень є перспективним і породжує цікавий напрям подальших досліджень і розробок.

References

Література

1. Zhen Su, Xiaolong Liang (2011). Computation and analysis on the Volt-Ampere characteristics of photodiode sensor under the certain conditions. In: *Proc. of the 4th International Congress on Image and Signal Processing*. P. 2593–2597. URL: <http://toc.proceedings.com/13473/webtoc.pdf>.
2. Abbas Rahimi, Pentti Kanerva, Luca Benini, Jan M. Rabaey (2019). Efficient Biosignal Processing Using Hyperdimensional Computing: Network Templates for Combined Learning and Classification of ExG Signals. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 107, No. 1, P. 123–143.
3. Rishan, O. Y., Matvienko, N. V. (2014). Strukturni metody pidvyshchennia tochnosti vymiriuvan v avtomatychnykh systemakh dozuvannia sypkkykh materialiv z vykorystanniam mahnitopruzhykh pervynnykh vymiriuvalnykh peretvoriuvachiv zusyillia [Structural methods for improving the accuracy of measurements in automatic dosing systems for bulk materials using magnetoelastic primary measuring transducers of force]. *Nauka tekhnologii innovatsii – Science of innovation technology*, № 4, P. 47–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI_2014_4_11 [in Ukrainian].
4. Yanenko, O. P., Mikhailenko, S. V., Lisnichuk, A. S. (2014). Radiometrychnyi moduliatsiynyi vymiriuvach intensyvnosti optychnoho vuprominiuvannia [Radiometric modulation meter of optical radiation intensity]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «KPI» Serii: Radiotekhnika. Radioaparatabuduvannia – Bulletin*
1. Zhen Su, Xiaolong Liang. Computation and analysis on the Volt-Ampere characteristics of photodiode sensor under the certain conditions. In: *Proc. of the 4th International Congress on Image and Signal Processing*. 2011. P. 2593–2597. URL: <http://toc.proceedings.com/13473/webtoc.pdf>.
2. Abbas Rahimi, Pentti Kanerva, Luca Benini, Jan M. Rabaey. Efficient Biosignal Processing Using Hyperdimensional Computing: Network Templates for Combined Learning and Classification of ExG Signals. *Proceedings of the IEEE*. 2019. Vol. 107, No. 1. P. 123–143.
3. Рішан О. Й., Матвієнко Н. В. Структурні методи підвищення точності вимірювань в автоматичних системах дозування сипких матеріалів з використанням магнітопружних первинних вимірювальних перетворювачів зусилля. *Наука технології інновації*. 2014. № 4. С. 47–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI_2014_4_11.
4. Яненко О. П., Михайленко С. В., Лісничук А. С. Радіометричний модуляційний вимірювач інтенсивності оптичного випромінювання. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування*.

- of the National Technical University of Ukraine "KPI" Series: Radio Engineering. Radio engineering, № 56, P. 96–101. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11 [in Ukrainian].
5. Ana Luz Muñoz Zurita, Joaquín Campos Acosta, Alejandro Ferrero Turrión and Alicia Pons Aglio (2012). Photodiodes as Optical Radiation Measurement Standards. *Intech. Open science | Open minds*. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/51462>.
6. Shi, B., Feng, S., Zhang, Y., Bai, K., Xiao, Y., Shi, L., Guo, C. (2019). Junction Temperature Measurement Method for SiC Bipolar Junction Transistor Using Base–Collector Voltage Drop at Low Current. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(10), 10136. DOI:10.1109/TPEL.2019.2894346.
7. Cherepanskaya, I. Y., Bezvesilna, O. M., Sazonov, A. Y. (2016). Do pytannia pidvyshchennia tochnosti kutovykh vymiriuvan honiometrychnymy systemamy [On the issue of increasing the accuracy of angular measurements by goniometric systems]. *VISNYK ZhDTU – BULLETIN of ZHTU*, № 1 (76), P. 92–99. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_1_12 [in Ukrainian].
8. Hidalgo-López, J. A., Fernández-Ramos, R., Romero-Sánchez, J., Martín-Canales, J. F., Ríos-Gómez, F. J. (2018). Improving Accuracy in the Readout of Resistive Sensor Arrays. *Journal of Sensors*, Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9735741>.
9. Kondratov, V. T. (2010). Metody izbytochnykh izmerenij: osnovnye opredelenija i klassifikacija [Methods of redundant measurements: basic definitions and classification]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Bulletin of the Khmelnytsky National University. Technical sciences*, № 3, P. 220–232. URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010_3/47kon.pdf [in Russian].
10. Shcherban', V., Korogod, G., Chaban, V., Kolysko, O., Shcherban', Yu., Shchutska, G. (2019). Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 98, № 2/5, P. 16–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>.
11. Shcherban', V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban', Yu., Shchutska, G. (2020). Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4(108)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>.
2014. № 56. С. 96–101. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11.
5. Ana Luz Muñoz Zurita, Joaquín Campos Acosta, Alejandro Ferrero Turrión and Alicia Pons Aglio. Photodiodes as Optical Radiation Measurement Standards. *Intech. Open science | Open minds*. 2012. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/51462>.
6. Shi B., Feng S., Zhang Y., Bai K., Xiao Y., Shi L., Guo C. Junction Temperature Measurement Method for SiC Bipolar Junction Transistor Using Base–Collector Voltage Drop at Low Current. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2019. 34(10). 10136. DOI:10.1109/TPEL.2019.2894346.
7. Черепанська І.Ю., Безвесільна О.М., Сазонов А.Ю. До питання підвищення точності кутових вимірювань гоніометричними системами. *ВІСНИК ЖДТУ*. 2016. № 1 (76). С. 92–99. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_1_12.
8. Hidalgo-López J. A., Fernández-Ramos R., Romero-Sánchez J., Martín-Canales J. F., Ríos-Gómez F. J. Improving Accuracy in the Readout of Resistive Sensor Arrays. *Journal of Sensors*. 2018. Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9735741>.
9. Кондратов В. Т. Методы избыточных измерений: основные определения и классификация. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2010. № 3. С. 220–232. URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010_3/47kon.pdf.
10. Shcherban' V., Korogod G., Chaban V., Kolysko O., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 98. № 2/5. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>.
11. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Kolysko M., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020.

12. Shcherban', V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban', Yu., Shchutska, G. (2021). Computer simulation of logarithmic transformation function to expand the range of high-precision measurements. *Eastern-European Journal of Enterprise: Information and controlling system*, Vol. 2, No. 9 (110), P. 27–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227984>.
13. Shcherban', V., Korogod, G., Kolysko, O., Volivach, A., Shcherban', Y., Shchutska, G. (2022). Computer modeling in the study of the effect of normalized quantities on the measurement accuracy of the quadratic transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, Iss. 5 (116), P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254337>.
14. A.s. Комп'ютерна програма «Визначення шуканої фізичної величини і контроль параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора», скорочена назва «Визначення значення фізичної величини і контроль параметрів LFP» [Computer program "Determination of the desired physical quantity and control of the parameters of the unstable linear transformation function of the sensor", abbreviated name "Determination of the value of the physical quantity and control of the LFP parameters"]. H. O. Korohod, A. P. Volivach. No. 110530; date of registration December 23, 2021 [in Ukrainian].
15. A.s. Літературно письмовий твір наукового характеру з ілюстрацією "Алгоритм визначення шуканої фізичної величини і параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора" [Literary written work of a scientific nature with an illustration "Algorithm for determining the desired physical quantity and parameters of the unstable linear function of the transformation of the sensor"]. H. O. Korohod, A. P. Volivach., N. V. Chuprinka. No. 110220; date of registration December 13, 2021 [in Ukrainian].
- No. 6 (4(108), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>.
12. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Kolysko M., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation of logarithmic transformation function to expand the range of high-precision measurements. *Eastern-European Journal of Enterprise: Information and controlling system*. 2021. Vol. 2, No. 9 (110). P. 27–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227984>.
13. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Volivach A., Shcherban' Y., Shchutska G. Computer modeling in the study of the effect of normalized quantities on the measurement accuracy of the quadratic transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 2, No. 5(116). P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254337>.
14. А.с. Комп'ютерна програма «Визначення шуканої фізичної величини і контроль параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора», скорочена назва «Визначення значення фізичної величини і контроль параметрів ЛФП». Г. О. Корогод, А. П. Волівач. № 110530; дата реєстрації 23 грудня 2021 р.
15. А.с. Літературно письмовий твір наукового характеру з ілюстрацією "Алгоритм визначення шуканої фізичної величини і параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора". Г. О. Корогод, А. П. Волівач, Н. В. Чупринка. № 110220; дата реєстрації 13 грудня 2021 р.

KOROHOD HANNA
PhD, Associate Professor
Department of Computer Science
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-1670-3125>
Scopus Author ID: 6504483409, 57686715700
E-mail: 5618607@ukr.net

VOLIVACH ANTONINA
PhD, Senior Lecturer
Department of Computer Science
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7119-7774>
E-mail: volivach.ap@knuutd.com.ua

KOROHOD H. O., VOLIVACH A. P.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**ALGORITHM AND COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINATION
OF HIGH PRECISION VALUE OF PHYSICAL QUANTITY AND PARAMETERS
OF UNSTABLE TRANSFORMATION FUNCTION**

The purpose of the work is the development of an algorithm and a computer program aimed at obtaining a high-precision value of a physical quantity with an unstable transformation function of the sensor, determining the current values of the parameters of the transformation function and establishing their compliance with tolerance limits.

Methodology: theory and methods of redundant measurements of physical quantities for the correct use of the methodology of redundant measurements, theory of errors for determining and estimating errors, theory of algorithms for the structured construction of algorithms, analytical methods of analysis of signal transformation processes, methods of mathematical modeling and numerical methods for solving nonlinear equations quantities and systems of equations of quantities, methods of computer analysis for the logical construction of software components.

Results: the proposed algorithm and the computer program built on its basis for processing the obtained measurement results allow: 1) to determine the high-precision value of the desired physical quantity, which does not depend on changes in the parameters of the transformation function, based on the equations of redundant measurements; 2) determine the current values of the parameters of the unstable transformation function; 3) to set qualitative indicators of deviations of each of the parameters of the sensor transformation function.

Scientific novelty: the developed algorithm for the operation of redundant measurements with a linear and unstable transformation function and its computer implementation create opportunities for conducting a calculation experiment and further research of its results.

Practical significance: the implementation of the algorithm and computer program using the method of redundant measurements allows to determine the high-precision value of the desired physical quantity and directly carry out effective studies of redundant measurements with an unstable transformation function of the sensor. In addition, due to the determination of the current values of the parameters of the transformation function, it becomes possible to determine the metrological reliability of the sensor with given deviations.

Keywords: algorithm; transformation function instability; redundant measurements; computer program; transformation function parameters.

УДК 004.89

КУЦЬ Н. М., ПИЛИПЕНКО Ю. М.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ГЕНЕРАЦІЇ МУЗИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ МЕЛОДІЇ АВТОРА

Мета. Пошук та реалізація засобів інтеграції концептуального підходу до створення нових музичних творів.

Методика. Виокремлено набір концептуальних складових музичної композиції. В проектуванні програмної системи використано принципи чистої архітектури SOLID. В проектуванні алгоритмів покладено в основу парадигму «розділяй та володарюй».

Результати. Розроблені алгоритми, написана та відлагоджена програма на мові програмування Kotlin, яка дозволяє працювати над редагуванням музичної композиції на концептуальному рівні – редагуючи концептуальні зв'язки, а не конкретні параметри нот. Об'єм програми близько 16 тисяч операторів. Тестування програми показало, що її використання дає можливість прискорити музичну обробку композиції приблизно в 10000 разів у порівнянні з ручним редагуванням. Зрозуміло, що остаточне рішення про вдалість відповідного редагування приймає автор, але в нього тепер з'являється можливість прослуховування різних варіантів обробленої композиції, на створення яких він, по суті, не витрачає час.

Наукова новизна. Запропоновано новий підхід до використання комп'ютеру при написанні музичних композицій, коли на основі мелодії автору комп'ютерна програма генерує, згідно закладених шаблонів, дещо змінені акценти звучання твору (наприклад, по тембру, тональності, ритму і т. д.). Цей підхід реалізовано в вигляді комп'ютерної програми, використання якої в тисячі разів прискорює генерацію музичних творів, в яких звучить мелодія автора.

Практична значимість. Написаний програмний продукт дає змогу композитору ефективно використовувати нові можливості створення музичних композицій на основі мелодії автора.

Ключові слова: музичне програмне забезпечення; генерація музики; програмні алгоритми; об'єктно-орієнтоване програмування; мова програмування Kotlin.

Вступ. Написання музики – креативний процес, в ході якого композитор розповідає історію, доступними в музиці засобами самовираження.

Від появи першого музичного запису і до нашого часу, технології створення музики значно еволюціонували. На це вплинули безліч процесів, в тому числі глобалізація та комп'ютеризація. З появою протоколу MIDI [1], збереження та редагування нотної інформації стало значно простішим процесом ніж за використання писемної нотації.

З часом з'явилися спеціальні комп'ютерні програми, які дозволяли редагувати MIDI-фрагменти. Ці програми отримали назву MIDI-редактори. Пізніше MIDI-редактори еволюціонували в програми нового типу – DAW (англ. «Digital Audio Workstation» – «цифрова звукова робоча станція») [2]. DAW зібрали в одному місці все необхідне для створення музики на комп'ютері.

Проблема підходів до написання музики, які пропонують більшість сучасних DAW, полягає у відсутності в арсеналі їх функцій засобів, які б дозволяли працювати над композицією не лише на рівні конкретних нот, а й на рівні музичного контексту. Нині DAW взаємодіють з композитором мовою конкретних значень, тоді як сам автор в процесі реалізації ідеї розмірковує концепціями, тобто зв'язками, які мають більш абстрактну природу. Саме такі закономірності, ми в даному випадку і називаємо «концептуальними зв'язками», а іншими словами – мелодією автора.

Конкретними значеннями в музиці можна вважати ноти. Нота виступає абстракцією фізичних характеристик звукової хвилі. З сукупності нот будуються музичні фрази, з фраз – партії, з партій – композиція. Важливо що зі сторони ідеї, конкретні ноти не мають такого великого значення, як зв'язки, які виникають між ними шляхом сприйняття музики в часі. Це

те ж саме що значення окремих слів стає зрозумілим лише в контексті речення, а значення речення – в контексті тексту.

Постановка завдання. Якщо головна мета взаємодії автора музики та програми для її написання – надання закінченої форми музичним ідеям, то така система могла б стати більш ефективною, якби дозволяла працювати не лише на рівні конкретних значень, а й на рівні контексту. Тобто дозволяла б редагувати закономірності, які пов'язують ноти як єдиний об'єкт, а не лише кожну ноту окремо.

Метою даної роботи було знайти шляхи інтеграції концептуального підходу до комп'ютерних програм з написання музики. Дослідити існуючі на даний момент програми, їх можливості та обмеження. Виокремити концептуальні складові на які можна спиратися в ході роботи над музичною композицією. Розробити програмну модель, яка дозволить працювати над композицією як на рівні деталей реалізації, так і на рівні музичного контексту.

Подальші впровадження повністю базуються на ідеї, що відділивши конкретні закономірності до різних областей і редагуючи та замінюючи ці закономірності окремо від інших (наприклад, окремо редагуючи ритмічний малюнок або змінюючи тональність), робота над композицією переміщується на концептуальний рівень, тобто не потребує від автора редагування кожної окремої ноти. Це стає можливим завдяки автоматизації рутинних процесів, оскільки програма самостійно редагує параметри нот, базуючись на встановлених закономірностях, *не порушуючи при цьому задум композитора.*

При цьому зберігається можливість автора безпосередньо впливати на творчий процес, оскільки саме він відбирає та редагує складові закономірності, а програма лише виконує рутинні процеси з їх впровадження.

Повне створення нових творів які можна віднести до витворів мистецтва, будь то в живопису, літературі, музиці – творчий процес, який ніколи не стане рутинною справою, і яку зможе зробити лише обдарована Богом людина.

Результати досліджень. За історію розвитку музики, виникла велика кількість закономірностей, які з часом були оформлені у вигляді музичної теорії [3–7]. Ці концепції в теорії музики представлені у вигляді ладів, тональностей, ритму, акордів, їх послідовності тощо. Кожна подібна закономірність надає твору особисті характеристики. Наприклад, різні типи та послідовності акордів можуть мати різний настрій.

Ми вважаємо, що сімейства концептуальних закономірностей, які можуть стати складовими операторами програми стали: тональні, метричні, інтервальні, гармонійні, ритмічні та динамічні.

Був розроблений алгоритм та створена програма, що дозволяє встановлювати, зберігати та редагувати концептуальні зв'язки між елементами композиції, змінюючи їх по відповідним умовам, для знаходження оптимального звучання твору в цілому.

Програму написано мовою програмування Kotlin [8] на мобільній платформі Android [9]. На даний момент програма включає близько 17 000 рядків коду.

Для кожного сімейства умов в програмі реалізовано набори заготовок, які в термінах програми отримали назву *шаблони*. Шаблон представляє собою умову певного типу. Наприклад, ритмічний шаблон являє собою послідовність часових характеристик нот, а гармонійний – схему побудови акорду у вигляді висотного зміщення нот по ступеням ладу.

Програма реалізована таким чином, що в процесі роботи над композицією, користувач відбирає те звучання твору, яке найкраще відповідає його представленню, прослуховуючи звучання при використанні того чи іншого шаблону.

Зі сторони інтерфейсу користувача алгоритм роботи з програмою має наступну послідовність дій:

1. Користувач натискає на сегмент треку, який буде відредаговано;

2. Відкривається діалог зі списком вузлів генерації. Користувач має натиснути на один з вузлів, щоб відкрити новий діалог для вибору умови, яка буде зберігатися у вузлі.

3. Відкривається діалог вибору умови. Користувач може обрати один з шаблонів, що надає програма або реалізувати власний.

4. Після того як умова буде вибрана, воно збережеться до відповідного вузла (Node) генерації.

5. Далі, коли всі умови будуть відредаговані користувач може запустити нову генерацію натиснувши на кнопку «Generate», яка знаходиться на нижній панелі інструментів програми.

6. При натисканні на цю кнопку запускається глобальний алгоритм генерації, про який мова буде йти далі.

Звертаємо увагу, що саме автор, прослуховуючи відповідні партії після генерації, вибирає той варіант, який, на його думку, ближче до його задуму або подобається йому більше.

Шаблон умови є концептуальним представленням зв'язків між згенерованими на його основі нотами. Для установки концептуальних зв'язків між окремими партіями композиції використовується механізм наслідування треками. Термін «наслідування» в даному випадку не пов'язаний з ООП, а означає, що результат генерації одного треку (ми називаємо його батьківським) виступає вхідними даними для інших треків (дочірніх).

Розглянемо основні компоненти, з яких складається композиція, що дозволить нам краще розібратися з алгоритмами написаної програми.

На глобальному рівні композицію можна уявити як набір треків зі збереженням інформації про порядок їх наслідування. Трек складається з сегментів – обмежених в часі фрагментів з унікальним набором умов. Кожна умова зберігається в окремій комірці – вузлі генерації. В поточній реалізації кожен сегмент може включати лише по одному вузлу визначеного типу. При цьому вузли мають чітко визначену послідовність і при генерації спрацьовують в такому порядку: тональний, метричний, інтервальний, гармонійний, ритмічний і динамічний відповідно.

На рис. 1 представлено візуальний вигляд елементів композиції. Композиція виділена голубим кольорами, трек – червоним, окремі сегменти – зеленим.

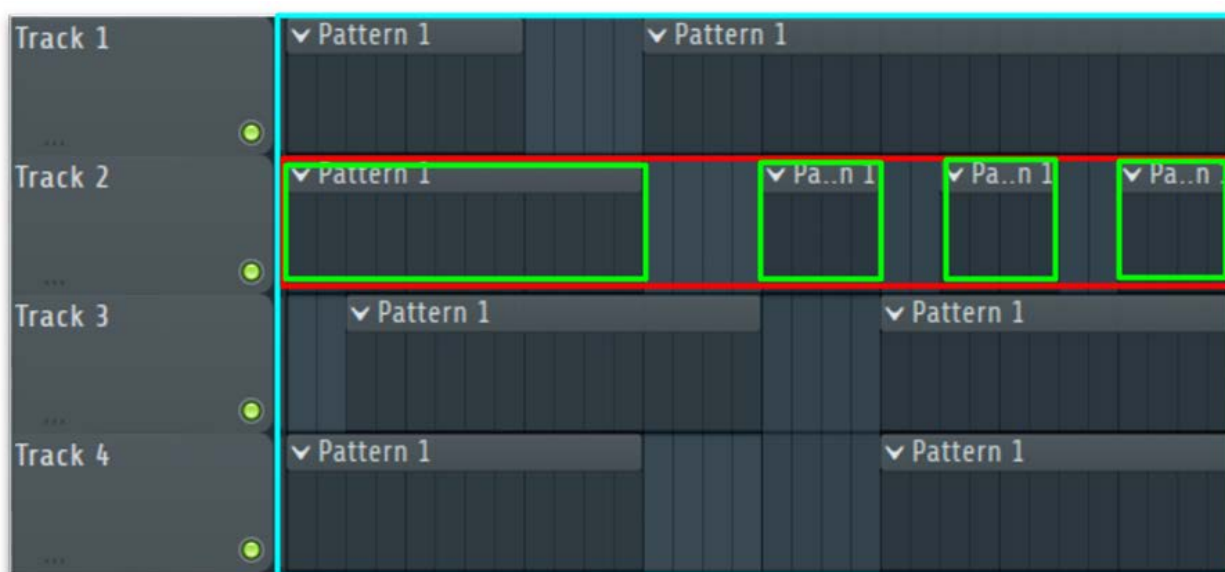


Рис. 1. Візуальний вигляд компонентів композиції

Алгоритми програми. Найголовнішою частиною програми є її алгоритми, оскільки вони вирішують поставлену в роботі задачу.

При розробці алгоритмів використовувалися положення наведені в серії книг «Досконалий алгоритм» [10].

В програмі розроблена та реалізована велика кількість алгоритмів, які відповідають за відображення інтерфейсу користувача, збереження даних, конвертацію в MIDI та багато інших. Однак найважливішими в рамках поставленої задачі є алгоритми генерації.

В рамках статті ми опишемо загальний алгоритм генерації та алгоритм накладання одного з типів умов.

Генерація на рівні композиції. При запуску генерації ми звертаємося до класу Composition. Клас Composition є глобальним класом проекту та існує в єдиному екземплярі. В цьому класі знаходяться дані про треки, ієрархія їх наслідування, а також обслуговуючі функції. При запуску генерації у класу Composition викликається функція generate():

```
fun generate() {  
    val tracks: List<Track> = hierarchy.getSortedInDeepTracks()  
    for (track in tracks) {  
        for (segment in track.segments) {  
            val source = getSourceParty(track, segment.timeBounds)  
            val result = segment.applyConditions(source)  
            track.addAll(result)  
        }  
    }  
}
```

В наведеному фрагменті коду послідовно обходяться всі треки композиції. Першими будуть згенеровані батьківські треки, потім їх дочірні і так далі. Це забезпечується викликом hierarchy.getSortedInDeepTracks(), який повертає список треків відсортованих таким чином, що враховує послідовність їх наслідування.

Для кожного треку послідовно обходяться всі його складові сегменти.

Щоб отримати «базові ноти» на які будуть накладатися умови з вузлів генерації, викликається функція getSourceParty(). Ця функція отримує у вигляді аргументів поточний трек для якого відбувається генерація та часові обмеження сегменту – початок та завершення його звучання в форматі PPQN – базовому форматі для представлення часових характеристик в MIDI-протоколі.

Функція getSourceParty() знаходить батьківський трек для поточного треку та «вирізає» з нього фрагмент нот, обмежений часовими рамками сегменту. Якщо батьківський трек відсутній, функція генерує партію з єдиною нотою. Ця нота має часові характеристики, що співпадають з тривалістю поточного сегменту, інші характеристики задаються за замовчування.

Функція getSourceParty() повертає об'єкт Party, що є класом-обгорткою для масиву нот, відсортованих за початком звучання (подія «note on» в MIDI-протоколі). Отримана партія зберігається до змінної source.

На наступному кроці викликається функція класу Segment – applyConditions(), яка приймає у вигляді аргументу партію source отриману на минулому кроці. В середині цієї функції партія source видозмінюється у відповідності до умов, що зберігаються у вузлах сегменту. Результат виклику функції зберігається до змінної result, яка теж має тип Party.

На фінальному кроці ноти партії *result* зберігаються до поточного треку викликом `track.addAll(result)`. Функція `addAll()` додає до треку список нот отриманих в результаті генерації поточного сегменту.

Таким чином при завершенні функції `generate()` в кожному треку зберігається партія нот, отриманих в процесі останньої генерації.

Генерація на рівні сегменту. На рівні сегменту генерація розпочинається з виклику функції `applyConditions()`:

```
fun applyConditions(source: Party): Party {  
    var party = source  
    for (node in nodes) {  
        party = node.execute(party)  
    }  
    return party  
}
```

Спершу значення партії *source* зберігається до тимчасової змінної *party*.

Далі послідовно обходяться всі вузли генерації. Для кожного вузла викликається функція `execute()`, що отримує у вигляді аргументу поточну версію змінної *party*. Функція `execute()` видозмінює отриману партію та повертає її нову версію, зберігаючи до змінної *party* нове значення.

Після застосування всіх вузлів функція `applyConditions()` повертає змінну *party*, як результат своєї роботи.

Генерація на рівні вузла. На рівні вузла генерація стартує з виклику функції `execute()`:

```
fun execute(source: Party): Party {  
    if (isActive()) {  
        return applyCondition(source)  
    }  
    return source  
}
```

Перевіряється активність вузла, викликом функції `isActive()`. Вузол активний, якщо містить шаблон умови та активований користувачем на стороні інтерфейсу.

Якщо вузол активний, повертається результат виклику функції `applyCondition()`, якщо не активний – партія повертається без змін.

Функція `applyCondition()` не має загального вигляду, а реалізується для кожного типу вузла окремо. В ній міститься алгоритм застосування визначеного типу умов, залежно від якого редагуються певні характеристики існуючих нот або генеруються нові ноти.

Конкретна реалізація алгоритмів накладання умов. Клас `Node` виступає абстрактним класом для представлення загальних принципів накладання шаблонів всіх сімейств умов. Для окремого сімейства умов реалізована власна версія класу-наслідника базового класу `Node`.

Розглянемо реалізацію класу-наслідника `Node` на прикладі ритмічного типу умов.

Реалізація застосування ритмічної умови. Маємо два ритмічні малюнки: рис. 2 та рис. 3.



Рис. 2. Ритмічні послідовності елементів партії та елементів умов

Послідовність «1» представляє собою ритмічний малюнок нот існуючої партії. Послідовність «2» – ритмічний малюнок шаблону, що зберігається у вузлі.

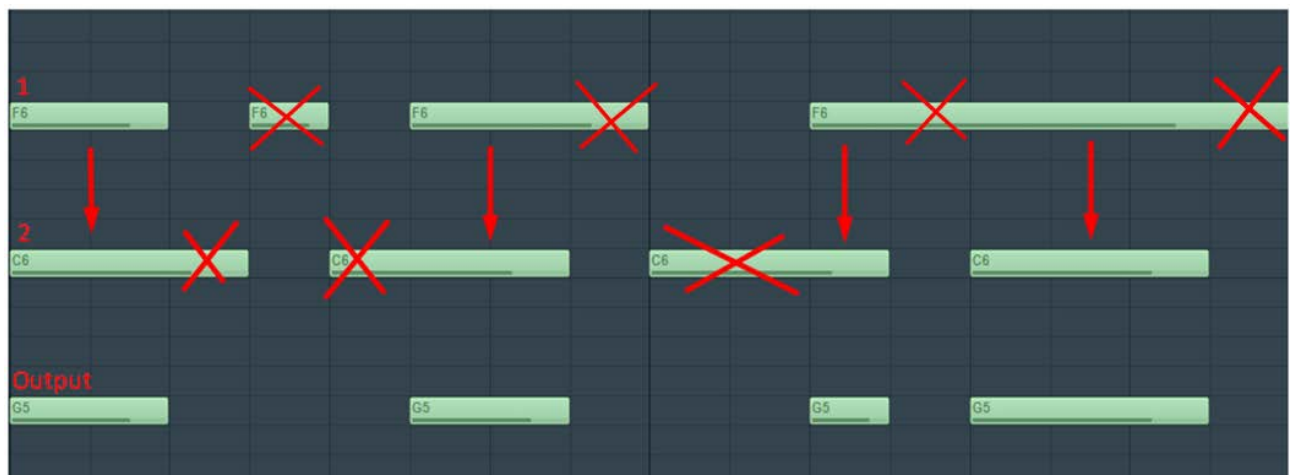


Рис. 3. Накладання ритмічного шаблону

Фільтруючий ритм працює за принципом кон'юнкції – сигнал на виході буде присутнім, лише якщо присутні сигнали на обох входах:

Ноти 1-ої послідовності накладаються на ноти 2-ої, там де вони звучать одночасно. Залишки нот, які не пересікаються – втрачаються (на малюнку їх перекреслено). В результаті отримуємо партію «Output».

При застосуванні ритмічного шаблону на вхід вузла потрапляє партія де всі ноти відсортовані за часом початку звучання, тому їх можна обходити послідовно, знаючи що час зростає разом з індексом поточної ноти в масиві.

Розглянемо код реалізації алгоритму:

```
class RhythmNode: Node<RhythmCondition>() {  
  
    override fun applyCondition(source: Party): Party {  
        return Party().apply {  
            var n0 = 0 // index of current note in party  
            var n1 = 0 // index of current note in condition sequence  
            var i1: TimeBounds // item from party  
            var i2: TimeBounds // item from condition  
            val condition = requireCondition()  
            var shift = 0
```

```
// until party finish reached
while (n0 < source.size()) {

    if (n1 >= condition.sequence.size) {
        // condition sequence end reached
        // reset condition, shift and continue
        n1 = 0
        shift += condition.size
        continue
    }

    val item = source.items[n0].copy()
    i1 = item.getTimeBounds()
    i2 = condition.sequence[n1]

    val i1Start = i1.start
    val i1End = i1.end
    val i2Start = shift + i2.start
    val i2End = shift + i2.end

    // check and update indexes if condition
    // item and party item not intersects
    if (i2End < i1Start) {
        n1++
        continue
    } else if (i1End < i2Start) {
        n0++
        continue
    }

    val start = max(i1Start, i2Start)
    val end = min(i1End, i2End)
    item.setTimeBounds(TimeBounds(start, end))
    add(item)

    // update indexes
    if (i1End < i2End) {
        n0++
    } else if (i2End < i1End) {
        n1++
    } else {
        n0++
        n1++
    }
}

class RhythmCondition(
    val sequence: List<TimeBounds>,
    val size: Int
)
```

Розбиваємо всю партію на рівні відрізки, тривалістю рівною тривалості ритмічного малюнку з умови.

Перевіряємо чи пересікаються поточні ноти умови та партії. Якщо ні, переміщуємося вперед, по нотах умови або нотах партії, дивлячись, яка з нот відстає.

Якщо ноти пересікаються, створюємо на основі поточної ноти партії, нову ноту з часовими характеристиками від моменту, коли обидві ноти почали звучати, і до моменту коли, хоча би одна з них закінчилася.

В залежності від того яка нота закінчилася раніше, зміщуємося на наступну ноту в партії або в ритмічному шаблоні, або одразу в обох, якщо вони закінчилися одночасно.

По закінченню нот в ритмічному шаблоні, він розпочинається спочатку.

Аналіз приросту продуктивності. Для демонстрації приросту ефективності при внесенні змін, проведено експеримент.

Створено композицію на 16 тактів та 4 треки. Один трек виступає в ролі базового, решта – його дочірні.

До базового треку вручну та програмно вносили зміни наступного характеру: змінювали висоту або тривалість однієї з нот базової партії, змінювали ритмічний малюнок або формат побудови акордів.

Тестування програми проводили на комп'ютері з процесором Intel Core i7-8750H 2.21 GHz.

Результати тестування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати тестування

№	Ручне редагування, с	Програма, с
1	34	0,003
2	25	0,004
3	31	0,003
4	21	0,003
5	22	0,002
6	40	0,004
7	39	0,002
8	12	0,001
9	31	0,004
10	22	0,001

Середнє тривалість внесення змін при ручному редагуванні становила 27,7 с. Тоді як середня тривалість повторної генерації всіх чотирьох треків при внесенні змін програмою, становила близько 0,003 с (3 мс). Час на ручну заміну умови в програмі у всіх експериментах не перевищував 15 с.

Повторний експеримент з композицією на 10 треків та більш складними умовами дав наступні результати:

- на ручне редагування витрачено 2 хв 3 с;
- на повторну генерацію – 0,003 с.

Висновки. Запропоновано підхід до редагування музичного твору, який базується на роботі з концептуальними закономірностями, в доповнення до роботи на рівні конкретних нот. Створено програму, яка реалізує цей підхід. Програма показала себе ефективною в тестах при внесенні концептуальних змін. Автоматичне внесення змін програмою виконувалося значно швидше ніж внесення тих самих змін при ручному редагуванні. Остаточне звучання музичної композиції – прерогатива автору.

References

1. MIDI. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/MIDI>.
2. Digital Audio Workstation, DAW. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_audio_workstation.
3. Sposobin, I. V. (1996). Elementary theory of music. Moscow: Kifara. 208 p. [in Russian].
4. Wooller, R., Brown, A. R. et al. (2005). A framework for comparison of processes in algorithmic music systems. In: *Generative Arts Practice* (pp. 109–124). Sydney, Creativity and Cognition Studios Press.
5. Biles, A. (2002). GenJam in Transition: from Genetic Jammer to Generative Jammer. In: *International Conference on Generative Art*, Milan, Italy.
6. Chomsky, N. (1956). Three models for the description of language. *IRE Transactions on Information Theory*, 2: 113–124.
7. Eno, B. (1996). Generative Music. URL: <http://www.inmotionmagazine.com/eno1.html>.
8. Kotlin language. URL: <https://kotlinlang.org/>
9. Android for developers. URL: <https://developer.android.com/>
10. Rafgarden, T. (2021). Perfect algorithm. St. Petersburg: Peter [in Russian].

Література

1. MIDI. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/MIDI>.
2. Digital Audio Workstation – DAW. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_audio_workstation.
3. Способін І. В. Елементарна теорія музики. Москва: Кифара, 1996. 208 с.
4. Wooller R., Brown A. R. et al. A framework for comparison of processes in algorithmic music systems. *Generative Arts Practice*, Sydney, Creativity and Cognition Studios Press, 2005. Pp. 109–124.
5. Biles A. GenJam in Transition: from Genetic Jammer to Generative Jammer. In: *International Conference on Generative Art*, Milan, Italy, 2002.
6. Chomsky N. Three models for the description of language. *IRE Transactions on Information Theory*. 1956. No. 2. P. 113–124.
7. Eno B. Generative Music. 1996. URL: <http://www.inmotionmagazine.com/eno1.html>.
8. Kotlin language. URL: <https://kotlinlang.org/>
9. Android for developers. URL: <https://developer.android.com/>
10. Рафгарден Т. Совершенный алгоритм. СПб: Питер, 2021.

PYLYPENKO YURI

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor, Department of Information and
Computer Technologies, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-4093-7298>
E-mail: pvl20453@gmail.com

Kutz Nazar

Student, Department of Information and Computer
Technologies, Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: vitaminkuna@gmail.com

KUTZ N. M., PYLYPENKO Y. M.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

COMPUTER PROGRAM FOR GENERATING MUSICAL COMPOSITIONS BASED ON THE AUTHOR'S MELODY

Purpose. Finding and implementing ways to integrate a conceptual approach to create new musical compositions.

Methodology. A set of conceptual components of a musical composition is singled out. In designing the software system, the principle of pure SOLID architecture was used. The design of algorithms is based on the “divide and conquer” paradigm.

Findings. Algorithms have been developed, a program in the Kotlin programming language has been written and debugged, which allows working on editing a musical composition at a conceptual level - editing conceptual relationships, rather than specific note parameters. The volume of the program is about 16 thousand operators. Testing of the program showed that using it allows you to speed up the musical processing

of a composition by about 10,000 times compared to manual editing. It is clear that the final decision on the success of editing is made by the author, but now he has the opportunity to listen to various versions of the processed composition, which, in fact, he does not spend time creating.

Originality. A new approach to the use of a computer when writing musical compositions is proposed, when, based on the author's melody, a computer program generates, according to the laid down templates, somewhat modified accents of the sound of the work (for example, in terms of timbre, key, rhythm, etc.). This approach is implemented in the form of a computer program, the use of which accelerates the generation of musical works in which the author's melody sounds thousands of times.

Practical value. The written software product allows the composer to effectively use the new possibilities of creating musical compositions based on the author's melody.

Keywords: music software; music generation; software algorithms; object-oriented programming; Kotlin programming language.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.4>

УДК 621.6

НИЧЕГЛОД В. В., БУРМІСТЕНКОВ О. П., СТАЦЕНКО В. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ БУНКЕРА НА ХАРАКТЕР ПРОТІКАННЯ ПОРОШКОВИХ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Дослідження витікання порошкових матеріалів різної величини з бункерів, встановлення характеру їх руху та визначення взаємозв'язків між параметрами бункера, його продуктивністю та фізико-механічними характеристиками сипких матеріалів.

Методика. Використання дослідного стенду для дослідження факторів що впливають на характер протікання сипкого матеріалу та чисельної оцінки взаємозв'язку між параметрами сипких матеріалів та продуктивністю за допомогою коефіцієнтів кореляції Пірсона.

Результати досліджень. Визначено ознаки що впливають на характеристики протікання матеріалу різної величини через бункери різних форм. Наведено математичні моделі руху сипких матеріалів в бункерах різних форм, проаналізовано вплив габаритів бункера та характеристик частинок на швидкість їх руху. Проведені експериментальні дослідження швидкості витікання матеріалів з бункерів, результати яких наведено у роботі.

Наукова новизна. Отримано математичну модель руху сипкого матеріалу в бункерах різних форм. Встановлено залежності між фізико-механічними параметрами частинок з різною дисперсністю та швидкістю їх руху.

Практична значимість. Розвиток техніки передбачає значне підвищення продуктивності технологічних процесів, неперервне підвищення якості продукції що випускається. Важливим елементом розвитку сучасного виробництва є вдосконалення методів та впровадження їх в обладнання для підвищення ефективності дозування сипкої продукції, які забезпечують максимально швидке та точне дозування. Дослідження такого напрямку як дозування сипкого матеріалу є невід'ємною складовою легкої, хімічної та харчової промисловостей. Отримані результати дозволять прогнозувати якість дозування та продуктивність бункерного обладнання для сипких матеріалів з різними характеристиками. В подальшому дозволить більш доцільно підбирати габарити бункерного обладнання для дозування конкретного сипкого матеріалу.

Ключові слова: стенд; сипкий матеріал; аналіз руху; моделювання бункер.

Вступ. Розрізняють [2] два режими руху матеріалу: нормальний та гідравлічний. Нормальний характеризується постійною швидкістю руху частинок на виході бункера, тобто продуктивність не залежить від кількості матеріалу в бункері. За гідравлічного режиму характер руху частинок наближається до руху рідини, і швидкість витікання стає функцією рівня матеріалу у бункері. Таким чином, для визначення характеру руху необхідно дослідити залежність продуктивності бункера від часу.

Сипкий матеріал вимірюють в міліметрах [6] та ділять на ряд категорій: пилевидні – 0,05; порошковидні – 0,05...0,5; дрібнозернисті – 0,5...2,0; крупнозернисті – 2...10; дрібнокускові – 11...60; середньокускові – 60...160; крупнокускові – 160...320; особливо крупні – > 320.

Постановка завдання. Основним завданням дослідження є вивчення характеру руху порошковидного сипкого матеріалу з бункера та порівняння його фізико-механічних властивостей та характеру руху з сипким матеріалом більшої дисперсії.

Результати досліджень. Рухомість сипких матеріалів визначається кутом φ природного укосу. Вільно насипаний сипкий вантаж на горизонтальну площину утворює конус, у якого кут нахилу твірної до горизонтальної площини є кут природного укосу матеріалу в стані спокою φ . При русі матеріалу на стрічці або полотні транспортера внаслідок поштовхів та коливань кут природного укосу значно зменшується. Такий кут називається кутом природного укосу матеріалу в русі φ .

Також результати аналітичних досліджень свідчать, що процес витікання сипких матеріалів залежить як від їх фізико-механічних властивостей, та і від геометричних параметрів бункера. Ці залежності можна визначити на основі інформації про величину продуктивності бункера та її зміну у часі [8].

З метою проведення зазначених досліджень у роботі використано дослідний стенд, структурна схема якого показана на рис. 1.

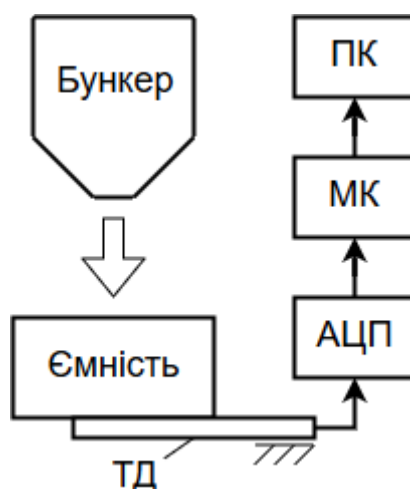


Рис. 1. Структурна схема стенду для визначення продуктивності бункера

До складу стенду входять: бункер, ємність для сипкого матеріалу, тензометричний датчик (ТД), аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікроконтролер (МК) та персональний комп'ютер (ПК). Ємність для сипкого матеріалу закріплена безпосередньо на ТД, таким чином, її маса визначає величину сигналу ТД. Бункер розміщено безпосередньо над ємністю. Якщо вихідний патрубок бункера відкритий, сипкий матеріал під дією сили тяжіння висипається у ємність та змінює її масу. МК через АЦП зчитує сигнал датчика маси та передає його для збереження та подальшого аналізу до ПК.

Конструкція стенду практично не створює обмежень на форму та розміри бункерів, які використовуються під час дослідження. Закріпити над ємністю можна практично будь-який бункер. Основною умовою, яку необхідно враховувати, є відповідність маси сипкого матеріалу та припустимих навантажень на тензодатчик[8].

При проведенні досліджень використовувались бункери двох конструкцій, що представлені на рис. 2,а та рис. 2,б.

Бункер рис. 2,а складається із однієї циліндричної зони та конічної зони, циліндрична та конічна зони з'єднані між собою за допомогою шийки. Бункер рис. 2,б має одну циліндричну зону та зону із параболічним нахилом бічних стінок. При проведенні досліджень кожен з бункерів повністю завантажувався сипким матеріалом, що гарантувало під час витікання матеріалу роботу бункера з наповненням всіх можливих комбінацій зон.

Порядок проведення досліджу:

- 1) Здійснювалось калібрування системи. Для цього визначався сигнал ТЗ, що відповідав порожній ємності.
- 2) Завантажувався сипкий матеріал у бункер.
- 3) Запускався процес вимірювання. МК через задані проміжки часу (0,09с) через АЦП зчитував сигнали тензодатчика.
- 4) Відкривався вихідний патрубок бункера.
- 5) Процес вимірювання припинявся після витікання всього матеріалу у ємність.

б) Дослід повторювався по три рази для трьох порошковидних матеріалів та трьох дрібнозернистих матеріалів і двох бункерів різної форми (рис. 2,а та рис. 2,б).

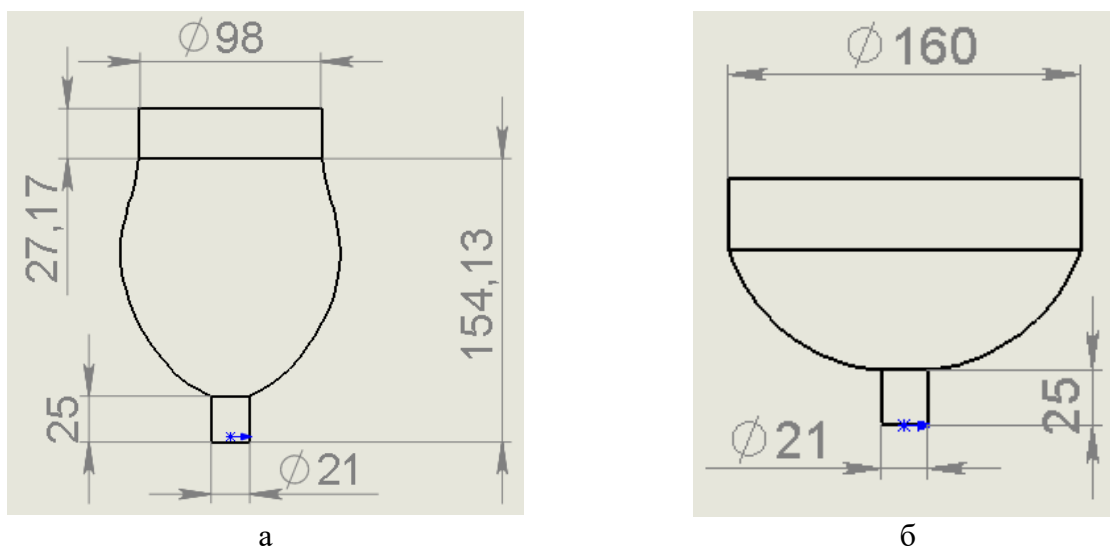


Рис. 2. Бункери із змінним кутом нахилу бічних стінок

Параметри сипких матеріалів, що визначались при проведенні експериментальних досліджень наведені у табл. 1. До них відносяться: розміри частинок, насипна густина та кут природнього укосу. Слід зазначити, що при проведенні аналітичних досліджень, в тому числі з використанням МДЕ, параметрами, що характеризують взаємодію частинок між собою та з поверхнею бункера, є коефіцієнти тертя ковзання та кочення. Також вони значною мірою визначають продуктивність бункера. Визначення значень цих коефіцієнтів при проведенні експериментальних досліджень є технічно складним завдання, оскільки вони залежать від зовнішніх умов. З іншого боку, результати аналітичних розрахунків свідчать, що кут природнього укосу матеріалу визначається сукупною дією всіх його властивостей. Таким чином, взаємозв'язок між продуктивністю бункера та кутом природнього укосу характеризує вплив властивостей матеріалу на продуктивність [8].

Таблиця 1

Параметри сипких матеріалів

Назва параметра	Матеріал 1	Матеріал 2	Матеріал 3	Матеріал 4	Матеріал 5	Матеріал 6
Розмір частинки, мм	0,1–0,4	~0,125	0,2–1	2,9–3,8	~1,7	~2,2
Кут природнього укосу, град	25	45	38	35	41,9	30,7
Насипна густина, кг/м ³	1300–1500	800	720	815	770	850

Результати експерименту складались зі значень про поточний момент часу та відповідний йому сигнал датчика маси. Після завантаження даних у ПК здійснювалась їх попередня обробка, яка складалась з трьох операцій.

1) Визначався момент початку надходження сипкого матеріалу у ємність. Всі попередні дані, які були зняті для порожньої ємності, з подальших розрахунків виключались.

2) Визначався момент завершення надходження матеріалу у ємність. Всі подальші дані також виключались із розрахунків.

3) Для кожного інтервалу часу, в які знімались сигнали датчика маси, визначалось середнє значення результатів трьох вимірювань.

Результати досліджень для бункера рис. 3, а та всіх шести матеріалів показані на рис. 3–8. Аналіз результатів свідчить, що залежність між масою матеріалу, який витік з бункера, та часом, є лінійною. Тому для її апроксимації методом найменших квадратів були розраховані коефіцієнти лінійного рівняння регресії.

На графіках точками показані експериментальні дані, суцільними лініями – результати розрахунків за отриманим рівнянням регресії.

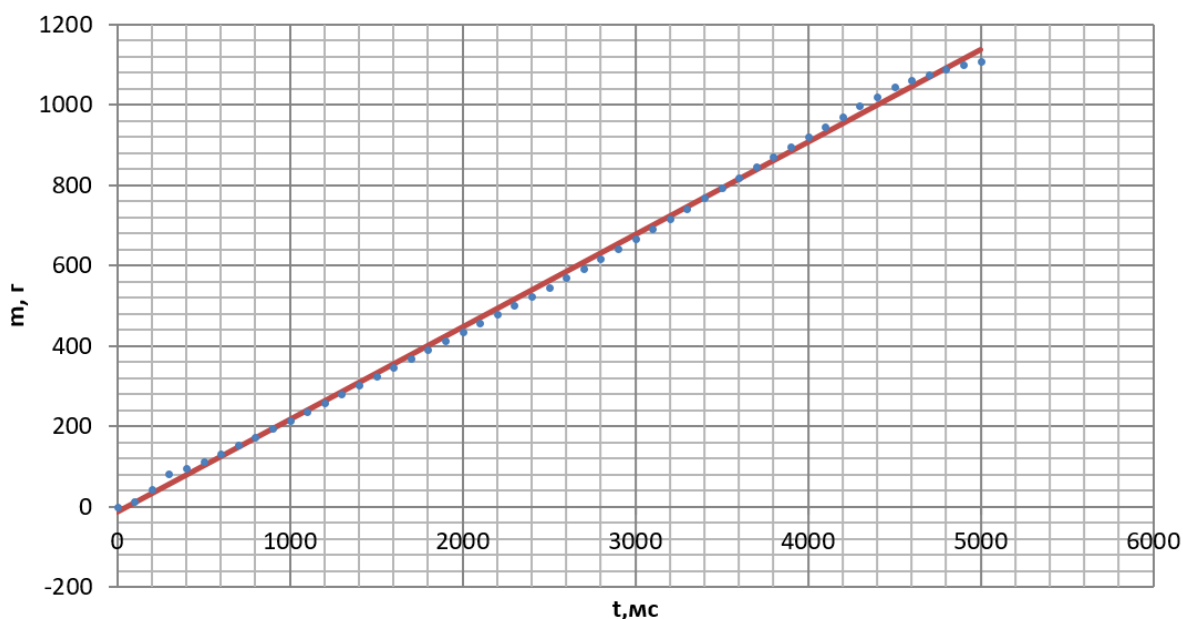


Рис. 3. Залежність між масою матеріалу 1 у ємності та часом витікання з бункера

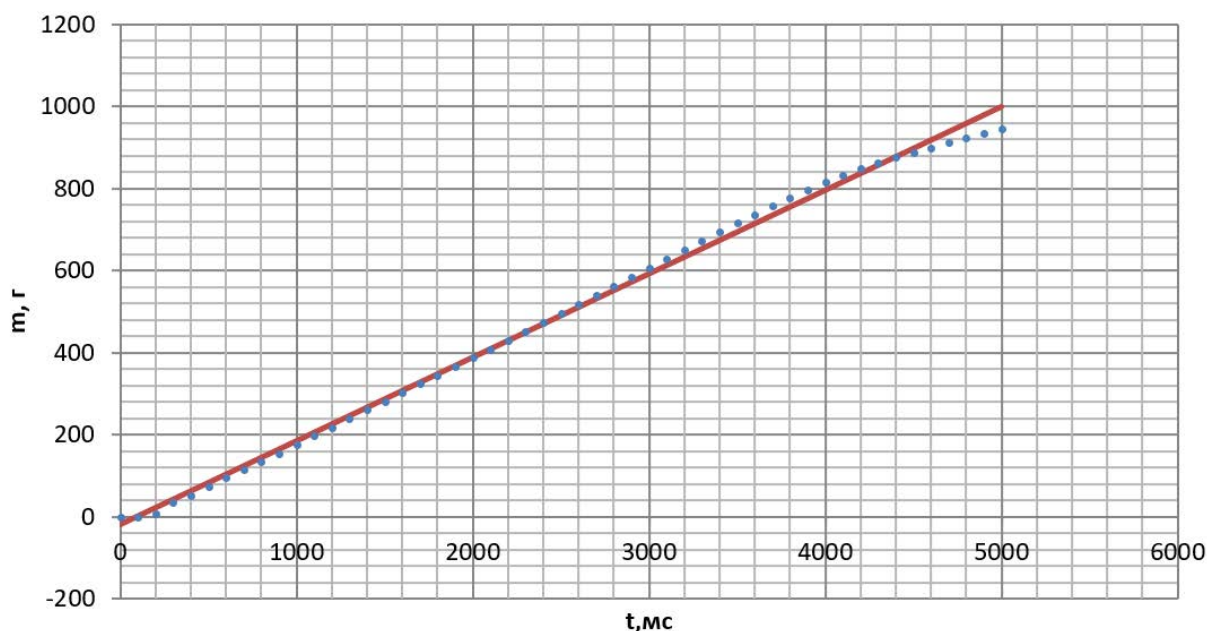


Рис. 4. Залежність між масою матеріалу 2 у ємності та часом витікання з бункера

Рівняння регресії для матеріалу 1:

$$m = 0,2303t - 14,284. \quad (1)$$

Рівняння регресії для матеріалу 2:

$$m = 0,1199t + 34,302. \quad (2)$$

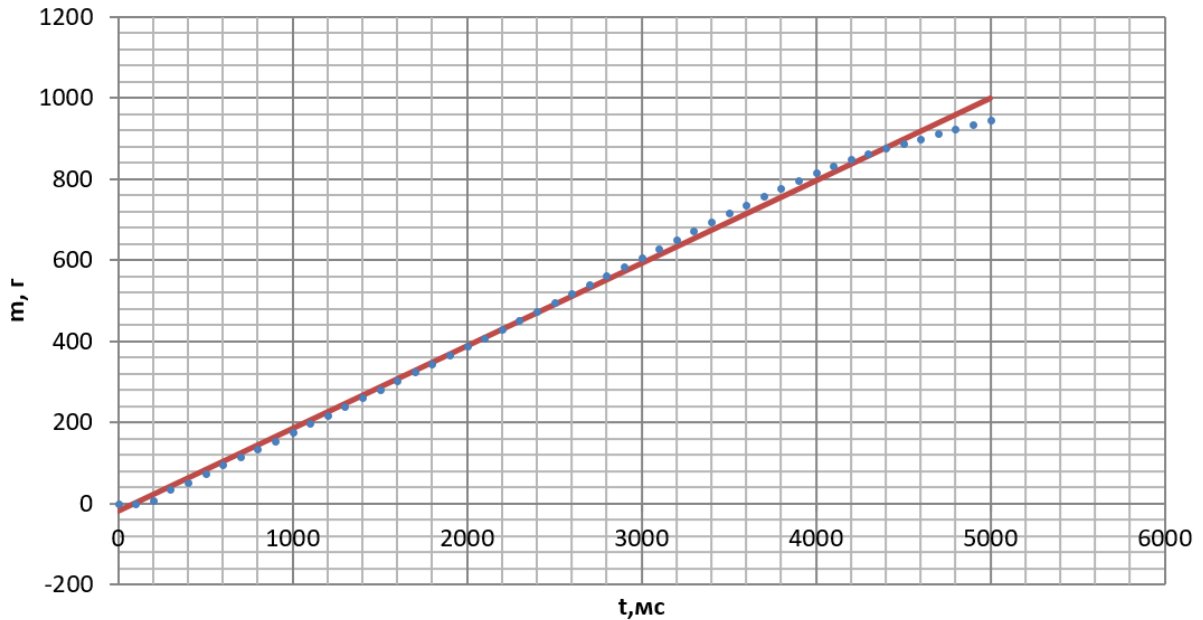


Рис. 5. Залежність між масою матеріалу 3 у ємності та часом витікання з бункера

Рівняння регресії для матеріалу 3:

$$m = 0,2039t - 19,56. \quad (3)$$

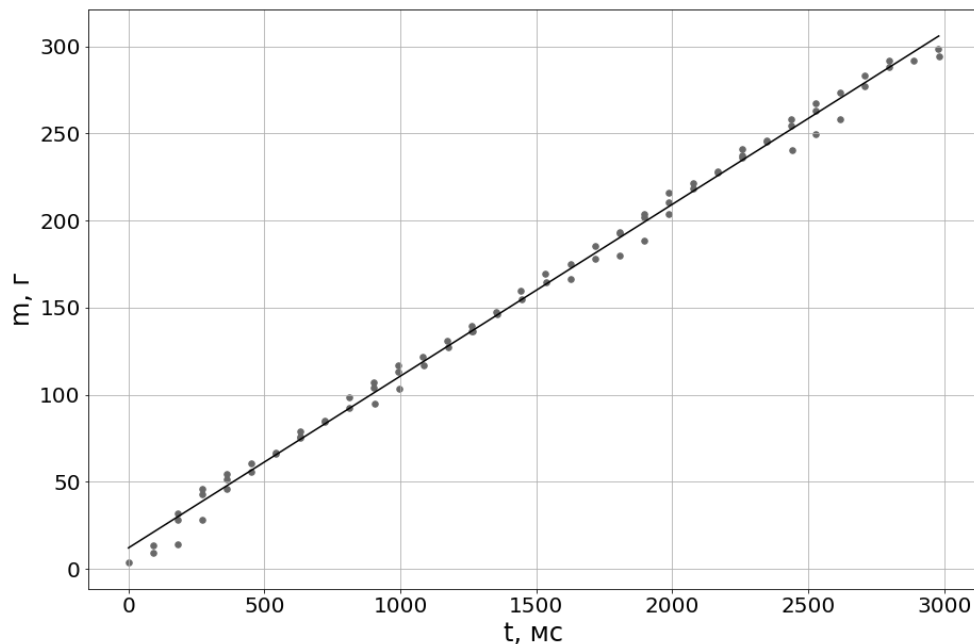


Рис. 6. Залежність між масою матеріалу 4 у ємності та часом витікання з бункера

Рівняння регресії для матеріалу 4:

$$m = 0,0986t + 12,037. \quad (4)$$

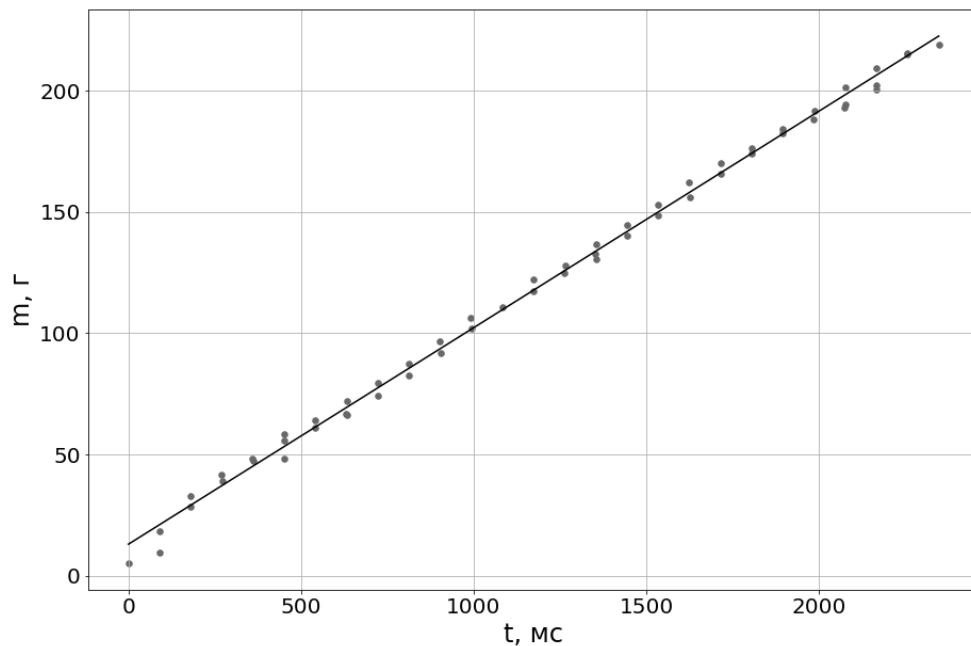


Рис. 7. Залежність між масою матеріалу 5 у ємності та часом витікання з бункера

Рівняння регресії для матеріалу 5:

$$m = 0,2039t - 19,56. \quad (5)$$

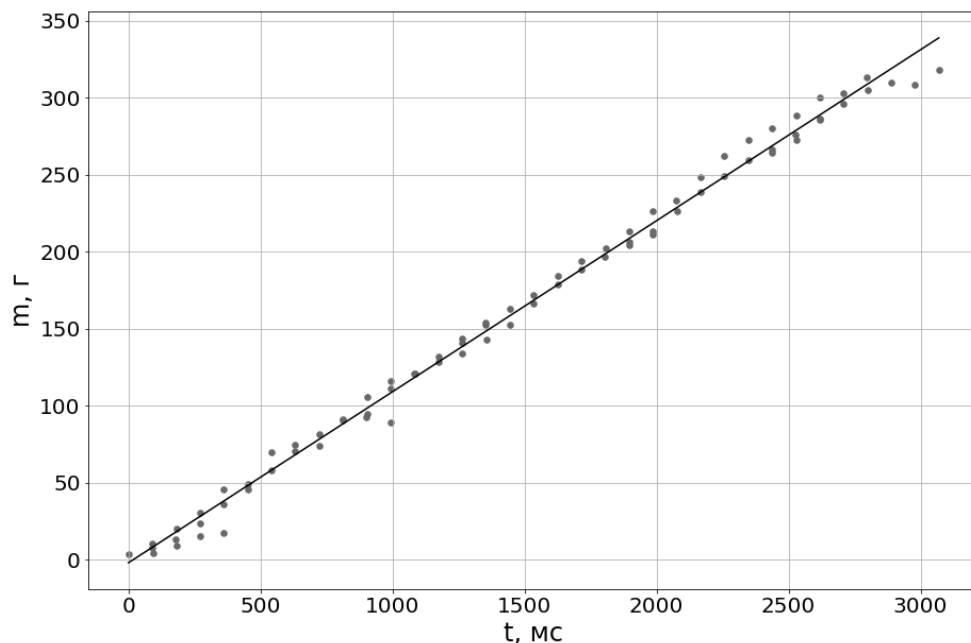


Рис. 8. Залежність між масою матеріалу 6 у ємності та часом витікання з бункера

Рівняння регресії для матеріалу 6:

$$m = 0,111t - 1,841. \quad (6)$$

Коефіцієнти рівнянь регресії при змінній t характеризують швидкість зміни маси ємності з матеріалом, тобто продуктивність бункера. У табл. 2 наведені значення продуктивності бункера для всіх трьох типів матеріалу.

Таблиця 2

Продуктивність конічного бункера для різних матеріалів

Назва параметра	Матеріал 1	Матеріал 2	Матеріал 3	Матеріал 4	Матеріал 5	Матеріал 6
Продуктивність, кг/с	0,201	0,184	0,1131	0,0986	0,0894	0,0911

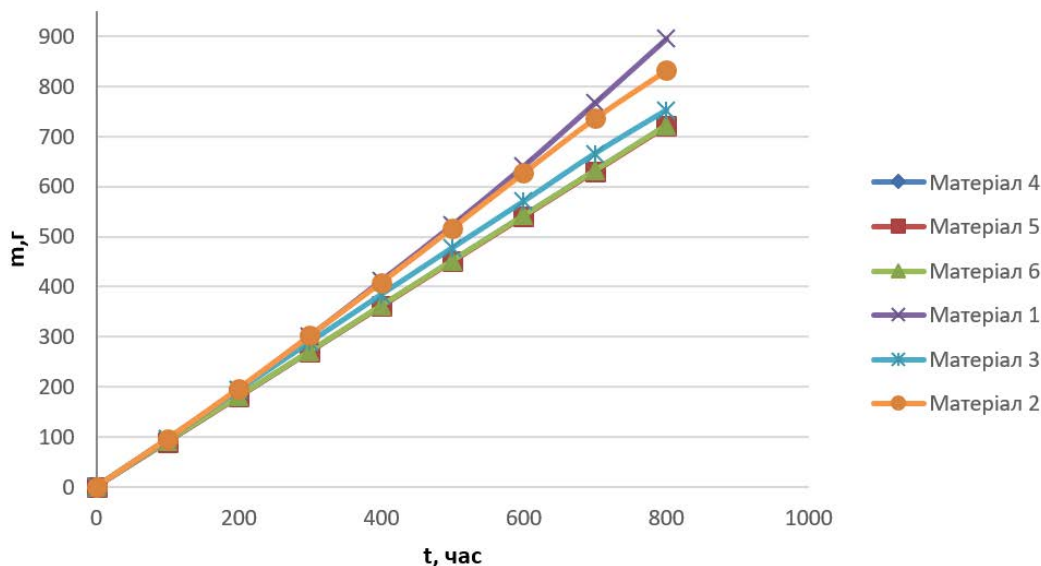


Рис. 9. Загальний графік залежності між масою усіх матеріалів у ємності та часом витікання для конічного бункера

Чисельна оцінка взаємозв'язку між параметрами сипких матеріалів та продуктивністю, здійснювалась за допомогою коефіцієнтів кореляції (Пірсона) [1] між:

- Кутом природнього укосу та продуктивністю.
- Розміром частинок та продуктивністю.
- Насипною густиною продуктивністю.

Коефіцієнт кореляції Пірсона характеризує існування лінійної залежності між двома величинами (x , y) та визначається за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x}) \sum(y_i - \bar{y})}} \quad (7)$$

де \bar{x} , \bar{y} – вибіркові середні.

Результати розрахунків для порошковидних матеріалів:

- 1) Коефіцієнт кореляції між продуктивністю та насипною густиною $r_p = 0,433$.
- 2) Коефіцієнт кореляції між продуктивністю та кутом природнього укосу $r_\varphi = -0,638$.
- 3) Коефіцієнт кореляції між продуктивністю та розміром частинок $r_a = -0,89816$.

Результати розрахунків для дрібнозернистих та крупнозернистих матеріалів:

- 1) Коефіцієнт кореляції між продуктивністю та насипною густиною $r_p = 0,988$.
- 2) Коефіцієнт кореляції між продуктивністю та кутом природнього укосу $r_\varphi = -0,976$.
- 3) Коефіцієнт кореляції між продуктивністю та розміром частинок $r_a = -0,212$.

Результати дослідження витікання матеріалу із конічного бункера дозволяють зробити наступні висновки:

- 1) Швидкість витікання матеріалу з бункера залежить від насипної густини.
- 2) Існує залежність, чим менший діаметр частинки матеріалу тим більшу роль в швидкості витікання матеріалу з бункера відіграє насипна густина матеріалу і навпаки.
- 3) Існує залежність між кількістю матеріалу в бункері і його продуктивністю.
- 4) Для даних габаритів бункера та характеристики насипної густини матеріалів швидкість витікання з конічного бункера збільшується по мірі зменшення матеріалу в ньому.
- 5) Продуктивність бункера практично не залежить від розміру сипкого матеріалу що з нього витікає.

References

Література

1. Statsenko, V. V., Burmistenkov, O. P., Bila, T. Y. (2017). Avtomatyzovani kompleksi bezperervnogo pryhotuvannia kompozytsii sypkykh materialiv: monohrafiia [Automated complexes for continuous preparation of compositions of loose materials: monograph]. Kyiv: KNUTD. 220 p. [in Ukrainian].
1. Стаценко В. В., Бурмістенков О. П., Біла Т. Я. Автоматизовані комплекси безперервного приготування композицій сипких матеріалів: монографія. Київ: КНУТД, 2017. 220 с.
2. Globin, A. N., Krasnov, I. N. (2016). Dozatory: monografija [Dozatory: monografiya]. Moscow-Berlin: Direct-Media. 384 p. [in Russian].
2. Глобин А. Н., Краснов И. Н. Дозаторы: монография. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 384 с.
3. Belaya, T. Ya. (1985). Razrabotka centrobeznykh ustrojstv nepreryvnogo dejstvija dlja smeshenija sypuchih materialov: avtoref. diss. k-ta tehn. nauk [Development of continuous centrifugal devices formixing bulk materials: abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences]. Kyiv [in Russian].
3. Белая Т. Я. Разработка центробежных устройств непрерывного действия для смешения сыпучих материалов: автореф. дисс. к-та техн. наук. Киев, 1985.
4. Burmistenkov, O. P., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennia roboty systemy keruvannia produktyvnistiu tarilchastoho zhyvylnyka bezperervnoi dii [Study of the performance management system of a continuous plate feeder]. VIII Ukrainian-Polish scientific dialogues: materials of the international conferences = VIII Ukrainko-Polski naukovy dialohy: materialy mizhnar. konf. (October 16–19, 2019. Khmelnytsky–Kamyanets-Podilsky) [in Ukrainian].
4. Бурмістенков О. П., Стаценко В. В. Дослідження роботи системи керування продуктивністю тарілчастого живильника безперервної дії. VIII Українсько-Польські наукові діалоги: матеріали міжнар. конф. (16–19 жовтня 2019 р., Хмельницький–Кам'янець-Подільський).
5. Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennia enerhoefektyvnosti obladnannia dlja zmishuvannia sypkykh materialiv [Investigation of energy efficiency of equipment fo rmixing bulk materials]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Serii: Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Sciences Series, 4(136): 42–48 [in Ukrainian].
5. Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Стаценко В. В. Дослідження енергоефективності обладнання для змішування сипких матеріалів. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. 2019. № 4(136). С. 42–48.
6. Vidineev, Yu. D. (1988). Sovremennye metody ocenki kachestva nepreryvnogo dozirovaniya [Modern methods for assessing the quality of continuous dosing]. Zhurnal Vsesojuznogo himicheskogo obshhestva imeni D. I. Mendeleeva = Journal of the All-Union Chemical Society named after D. I. Mendeleev, 33(4): 397–404 [in Russian].
6. Видинеев Ю. Д. Современные методы оценки качества непрерывного дозирования. Журн. Всесоюз. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева. 1988. Т. 33, № 4. С. 397–404.
7. Gavva, O. M., Derenivska, A. V. (2014). Liniini vahovi dozuvalni prystroi diskretnoi dii dlja sypkoi produktsii
7. Гавва О. М., Деренівська А. В. Лінійні вагові дозувальні пристрої дискретної дії для

- (obgruntuvannia ratsionalnykh parametriv) [Line arweight dosing device softdiscrete action for bulk products (substantiat of rational parameters)]. *Упаковка = Packaging* [in Ukrainian].
8. Bila, T. Ya., Statsenko, V. V., Burmistenkov, O. P. (2018). Analiz rukhu sypkoho materialu na vykhodi bunkeriv [Analysis of the movement of loose material at the exit of bunkers]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Serii: Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Sciences Series*, 4(124): 85–95 [in Ukrainian].
9. Hyachev, L. (1986). *Osnovy teoryy bunkerov y sylosov* [Bunkers and silos theory fundamentals]. Barnaul: APY [in Russian].
10. Statsenko, V. V., Bila, T. Ya., Burmistenkov, O. P. (2018). Analiz rukhu sypkoho materialu na vykhodi bunkeriv [Analysis of movement of loose material at the exit of bunkers]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Serii: Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Sciences Series*, 4(124): 85–95 [in Ukrainian].
- сипкої продукції (обґрунтування раціональних параметрів). *Упаковка*. 2014.
8. Біла Т. Я., Стаценко В. В., Бурмістенков О. П. Аналіз руху сипкого матеріалу на виході бункерів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2018. № 4 (124). С. 85–95.
9. Гячев Л. В. Основы теории бункеров и силосов. Барнаул: АПИ, 1986. 84 с.
10. Стаценко В. В., Біла Т. Я., Бурмістенков О. П. Аналіз руху сипкого матеріалу на виході бункерів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2018. № 4. С. 85–95.

NYCHEGLOD VOLODYMYR
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5252-5341>
E-mail: nicheglod.vv@knuutd.edu.ua

BURMISTENKOV OLEKSANDR
Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0001-4229>
Scopus Author ID: 57210341826
Researcher ID: T-5180-2018
E-mail: burmistenkov.op@knuutd.edu.ua

STATSENKO VOLODYMYR
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Computer Engineering and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>
Scopus Author ID: 57210344190
Researcher ID: C-3646-2017
E-mail: statsenko.v@knuutd.edu.ua

NYCHEGLOD V. V., BURMISTENKOV O. P., STATSENKO V. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE BUNKER ON THE CHARACTER OF THE FLOW OF POWDERED FLOOR MATERIALS

Purpose. Study of the outflow of powder materials of different sizes from bunkers, establishing the nature of their movement and determining the relationships between the parameters of the bunker, its performance and physical and mechanical characteristics of bulk materials.

Method. The use of an experimental bench for the study of factors affecting the nature of the flow of bulk material and the numerical assessment of the relationship between the parameters of bulk materials and performance using Pearson correlation coefficients.

Research results. The characteristics affecting the characteristics of the flow of material of different sizes through bunkers of different shapes have been determined. Mathematical models of the movement of loose materials in bunkers of various shapes are presented, the influence of the dimensions of the bunker and the characteristics of particles on the speed of their movement is analyzed. Experimental studies of the flow rate of materials from bunkers were conducted, the results of which are presented in the work.

Scientific novelty. A mathematical model of the movement of loose material in bunkers of various shapes was obtained. The dependences between the physical and mechanical parameters of particles with different dispersion and their speed of movement have been established.

Practical significance. The development of technology involves a significant increase in the productivity of technological processes, a continuous increase in the quality of products produced. An important element of the development of modern production is the improvement of methods and their implementation in equipment to increase the efficiency of dosing of bulk products, which ensure the fastest and most accurate dosing. Research in such a direction as bulk material dosing is an integral part of the light, chemical and food industries. The obtained results will make it possible to predict the quality of dosing and the performance of bunker equipment for loose materials with different characteristics. In the future, it will allow to more expediently select the dimensions of the bunker equipment for dosing specific loose material.

Keywords: stand; loose material; motion analysis; bunker simulation.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.5>

УДК 620.91:
697.1

¹ШОВКАЛЮК М. М., ²ПАХУНОВА К. Ю., ²ШЕВЧЕНКО О. М.

¹ Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

² Навчально-науковий інститут теплової та ядерної енергетики КПІ ім. Ігоря
Сікорського, Україна

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТЛОВОЇ БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ ІЗ УРАХУВАННЯМ СОЦІАЛЬНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

Вступ. Зважаючи на енергозалежність України, підвищення енергоефективності житлового фонду є надзвичайно актуальним завданням. Будівля є складною енергетичною системою, для вивчення якої застосовується системний підхід; тому актуальності набувають методи енергетичного моделювання з використанням програмних комплексів.

Мета. Проведення енергообстеження з опитуванням мешканців та визначення енергетичних характеристик із застосуванням програмних продуктів для енергоаудиторів для моделювання і вибору обладнання.

Методика. Дослідження включало інструментальні виміри, техніко-економічний аналіз з використанням інженерних методик розрахунку, анкетування мешканців, моделювання у спеціалізованих програмних продуктах RETScreen, DesignBuilder, Audytor OZC, PV-SOL та T-SOL; використано метод інтегрованої вартості для вибору джерела теплоти.

Результати. Отримано структуру енергоспоживання будівлі та проведено оцінювання потенціалу енергозбереження з урахуванням особливостей експлуатації та технічних можливостей; запропоновано три пакети енергозберігаючих заходів. За допомогою розроблених моделей в спеціалізованих програмах виконано моделювання енергоспоживання до та після впровадження заходів та підбрано обладнання для використання сонячної енергії. Дослідження проводилося в рамках роботи над магістерською дисертацією.

Наукова новизна. Розглянуто можливості різного програмного забезпечення для моделювання енергетичних характеристик житлової будівлі, наведено порівняльний аналіз результатів та здійснено вибір одного із заходів на основі аналізу руху грошових коштів.

Практична значимість. За допомогою програмного забезпечення побудовано 3D моделі і виконано прикладні дослідження енергетичних характеристик та розроблено пропозиції для термомодернізації існуючої житлової будівлі з урахуванням фактичних умов експлуатації, запропоновано три пакети заходів «Мінімальний», «Оптимальний», «Максимальний».

Ключові слова: енергозбереження; термомодернізація; житлова будівля; моделювання енергоспоживання.

Вступ. Європейський підхід до аналізу енергетичної ефективності будівель [1] вимагає урахування зовнішніх кліматичних умов і внутрішнього мікроклімату, конструктивних особливостей огорожень, умов експлуатації і характеристик інженерних систем і джерел енергії. Питання підвищення енергетичної ефективності житлових будівель із прийняттям закону [2] в умовах посилення вимог до теплоізоляційних властивостей огорожень [3] і зростання вартості енергоресурсів набуває все більшої актуальності. Розробка проєктів підвищення енергоефективності будівлі можлива за допомогою енергетичного моделювання [4]. Можливості застосування спеціалізованих програмних продуктів під час виконання наукових досліджень показано в [5, 6], де висвітлено питання верифікації енергетичної моделі будівлі. Для моделювання можуть використовуватися різні програмні продукти [7].

Постановка завдання: поглиблення існуючих підходів до розробки енергоефективних проєктів житлових будівель із застосуванням моделювання; виконання опитування мешканців з метою урахування соціальних аспектів під час вибору заходів. Враховуючи рекомендації

європейських та українських стандартів, доцільним також є оцінювання терміну окупності заходів з підвищення енергетичної ефективності на основі аналізу життєвого циклу.

Загальна характеристика та опис об'єкта дослідження. Об'єкт дослідження – існуючий багатоквартирний 213-квартирний будинок з даховою котельнею (ОСББ у місті Буча Київської області, рис. 1). 9-ти поверхову будівлю побудовано за індивідуальним проектом (П-подібна компоновка) у 2009 році. Кондиціонований об'єм 41500 м³, опалювальна площа 15400 м², чиста висота приміщення 2,7 м. Кількість мешканців в будівлі – близько 1000 людей.



Рис. 1. Загальний вигляд житлової багатоквартирної будівлі П-подібної компоновки

Зовнішні стіни із силікатної цегли $\delta = 0,5$ м з облицюванням червоною цеглою з утепленням внутрішньої поверхні стіни мінераловатними плитами $\delta = 0,05$ м з приведеним опором теплопередачі стін 2,32 м²·К/Вт, що не відповідає нормам [3]. Будівля має неопалювальний підвал та горизонтальну покрівлю. На технічний поверх виходять витяжні шахти системи вентиляції. Дахова котельня, де встановлено 6 водогрійних модулів Колві, працює лише в опалювальний період. Виконані розрахунки ККД котлоагрегатів за прямим балансом показали, що приведений ККД існуючих котлів знизився з паспортного значення 92%, до реального 85%. Автоматика погодного регулювання не працює, здійснюється вручну. Гаряче водопостачання – за рахунок електробойлерів, що встановлено в квартирах (в трикімнатних квартирах – два, в кожному санвузлах). Теплова потужність на опалення – 1,152 МВт. Система опалення – двотрубна з супутнім рухом теплоносіїв, подача зверху-вниз, на опалювальних приладах встановлені ручні вентилялі. Наявні численні втручання в систему з заміною та перенесенням опалювальних приладів на балкони, внаслідок чого система розбалансована, опалювальні прилади квартир «середніх поверхів» в холодні періоди не прогриваються, а температура зворотного теплоносія на стояках відрізняється до 7 °С. Фактична температура в приміщеннях по одному стояку коливається від 17 °С до 26 °С [9]. Незважаючи на розбалансованість системи опалення, температура повітря в приміщеннях не знижується нижче 17 °С за рахунок перетоків з сусідніх приміщень та теплових надходжень від сонця, людей та приладів [8]. Це показали вимірювання, виконані протягом 5 днів у декількох найбільш типових та у проблемних квартирах [8].

Тариф на опалення для мешканців ОСББ складається з: абонентської плати за обслуговування котельні, тарифу за спожиту теплоенергію (затверджується загальними зборами на

початку опалювального періоду у грн/м² опалювальної площі, а за результатами сезону здійснюється перерахунок). Експлуатація дахової котельні дозволяє встановлювати тарифи для опалення будинку значно нижче, ніж у регіоні, а також для централізовано опалення.

Ведеться загальнобудинковий облік витрат газу, теплоти та електроенергії. В квартирах встановлено поквартирні лічильники холодної води та електроенергії (в більшості квартир – з двозонним тарифом день/ніч), також є технічний облік споживання зовнішнього освітлення та одного з п'яти ліфтів для можливості коректних розрахунків тарифів за утримання будинку.

Основні етапи та методи дослідження. Дослідження енергетичних будівлі виконувалося в декілька етапів: виконання детального енергетичного обстеження і формування трьох пакетів енергозберігаючих заходів; опитування мешканців шляхом анкетування [9] з оцінюванням впливу особливостей поведінки на енергоспоживання будівлі; моделювання енергоспоживання в програмних продуктах RETScreen, DesignBuilder, Audytor OZC, PV-SOL та T-SOL [10].

Енергетичне обстеження включало: збір вихідних даних: вивчення режимів експлуатації, уточнення фактичних геометричних і теплотехнічних показників огорожень і порівняння з проектними характеристиками, дослідження умов мікроклімату (температури і вологості); інструментальні вимірювання та тепловізійну зйомку; економічну оцінку доцільності запропонованих енергозберігаючих заходів.

Для будівлі були запропоновані можливі заходи з енергозбереження за трьома пакетами з оцінкою економічної доцільності (табл. 1), проведений огляд інвестиційних можливостей для фінансування (до військових дій) [11].

Таблиця 1

Пакети рекомендованих заходів з енергозбереження

№	Назва заходу	Пакети, T _{ок} , p.		
1	Встановлення частотного перетворювача на насоси	Мінімальний, 1,5, p.	Оптимальний, 4,5 p.	Максимальний, 14,3 p.
2	Утеплення та герметизація входу в підвал			
3	Налагодження погодного регулювання			
4	Встановлення тамбурних дверей			
5	Модернізація освітлення з датчиками руху			
6	Модернізація вентиляції (з рекуператорами)			
7	Заміна частини котельних потужностей			
8	Заміна вікон місць загального користування (МЗК)			
9	Заміна вікон квартир на енергоефективні			
10	Утеплення перекриття технічного поверху			
11	Утеплення зовнішніх стін			
12	Прилади-розподільвачі з модернізацією системи			
13	Балансування з модернізацією системи опалення			

Результати опитувань мешканців. На наступному етапі за попередньо розробленими анкетами проводилося опитування серед мешканців будівлі [9]. Анкетування виявило, що найбільш комфортно внутрішньою температурою внутрішнього повітря для більшості мешканців є 22÷24 °C (44%), причому обігрівачі та кондиціонери використовують близько половини власників, що не відповідає нормативним вимогам і для холодного, і теплого періодів. Це доцільно враховувати під час побудови енергетичних балансів існуючих багатоквартирних житлових будівель. Рівень задоволеності мешканців послугами опалення, зважаючи на розбалансованість системи: 55% – цілком задоволені; 35% – задоволені (є зауваження); здебільшого незадоволені – 10% квартир. До якості холодної води є зауваження у більшості жителів (53%), а близько 30% незадоволені послугою водопостачання. Лише 44%

мешканців використовують ручні вентиля на батареях для регулювання витрат теплоенергії, і лише половина квартир економлять кошти на електроенергію, використовуючи побутові пристрої вночі (табл. 2); тобто існує суттєвий резерв економії у разі більш свідомого відношення до енерговитрат [9]. Також встановлено наступний цікавий факт: більшість (77%) підтримує участь ОСББ у кредитних програмах фінансування заходів з підвищення енергоефективності, але лише 42% власників цікавилися більш детальною інформацією щодо них.

Таблиця 2

Опитування мешканців щодо використання регулювання споживання енергії (кількість квартир, що взяли участь – 137, розподіл по парадним рівномірний)

Можливості регулювання витрат тепло/електроенергії			Родини, що використовують можливості регулювання енергоспоживання для зменшення витрат залежно від кількості дітей		
Відповідь	Вентилі на батареях	Нічний тариф на ел/енергію	Вид впливу	2 дитини	3 дитини
Так	44%	49%	вентилі	44%	72%
Ні	30%	32%	Нічний тариф	58%	55%
Немає технічної можливості	26%	19%			

Джерело: [9].

Вивчення умов експлуатації є важливим під час розробки пакету заходів з енергозбереження для багатоквартирних будівель. Більш приваблива окупність заходів не є пріоритетною для мешканців, тому що існують такі проблеми як: недотоп в квартирах при однаковій поквартирній оплаті через розбалансованість системи опалення, перетоки через міжквартирні перегородки та ін. При отриманні кредитів на енергоефективні проєкти потрібно мати більшість голосів мешканців (зокрема, для проєктів Фонду енергоефективності – 2/3 голосів), тому заходи обговорювалися на загальних зборах і найбільшу кількість голосів набрали наступні: модернізація системи освітлення з установкою датчиків руху – 70%, квартирний облік теплоти за рахунок приладів-розподільовачів – 65% (хоча він є довгоокупним); автоматика погодного регулювання і частотне регулювання насосів – 60% [9].

Наступним етапом дослідження проводилося енергетичне моделювання будівлі.

Побудова моделей та результати енергетичного моделювання у спеціалізованих програмних продуктах. Програмний продукт EnergyPlus використовувався в дослідженнях енергетичних характеристик будівлі, а у графічному інтерфейсі DesignBuilder створювалася геометрія будівлі із виконанням зонування приміщень (рис. 2). За допомогою програмного продукту DesignBuilder було виконано 3D модель будівлі та проведене динамічне моделювання енергоспоживання з врахуванням теплофізичних властивостей внутрішніх і зовнішніх огорожень, умов експлуатації, інженерних мереж, теплових надходжень, повітрообміну, інерційних властивостей, погодних умов [12] тощо.

В спеціалізованому програмному продукті DesignBuilder було проведено цикли розрахунків, а для калібрування енергетичної моделі проводилося порівняння фактичних даних (споживання енергоносіїв за останні три роки з перерахунком на стандартні погодні умови та кількість днів опалення) з результатами моделювання. Створено три моделі будівлі: actual – відображає реальні конструктивні і теплотехнічні характеристики огорожень, інженерних мереж, температурні умови та повітрообмін; baseline – умови комфортності, повітрообміну доведені до нормативних показників; proposed – теплотехнічні характеристики відповідають сучасним вимогам (утеплення входу в підвал та встановлення тамбурних дверей, стелі в підвалі, підлоги над проїздами, підлоги в даховій котельні, заміна вікон МЗК, перекриття техповерху), а також враховано налагодження погодного регулювання.

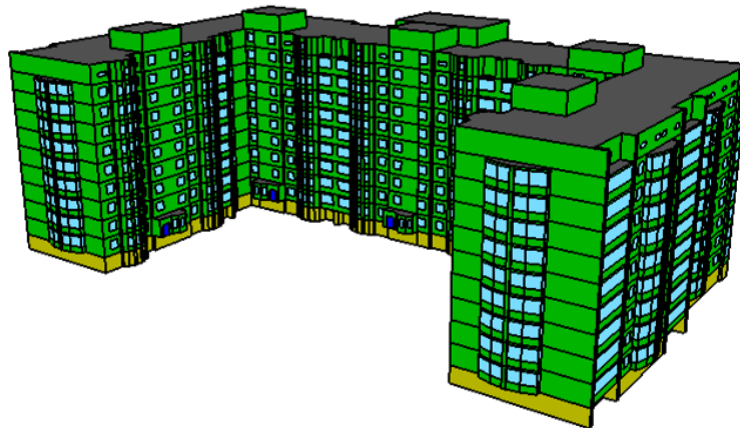


Рис. 2. Розроблена 3D модель в DesignBuilder

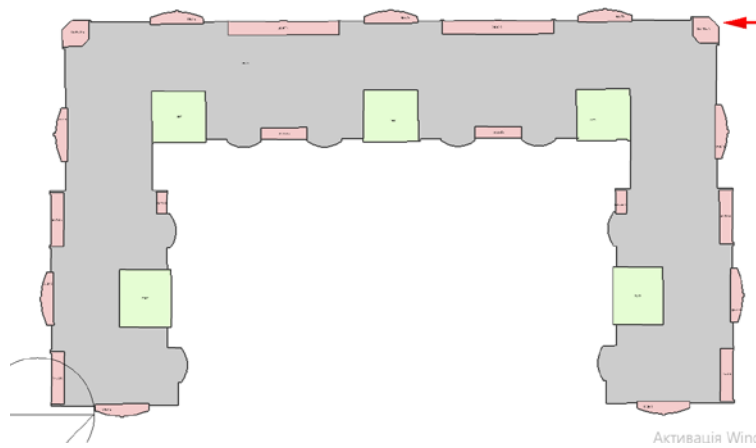


Рис. 3. Вигляд енергетичної моделі із виділенням окремих розрахункових зон

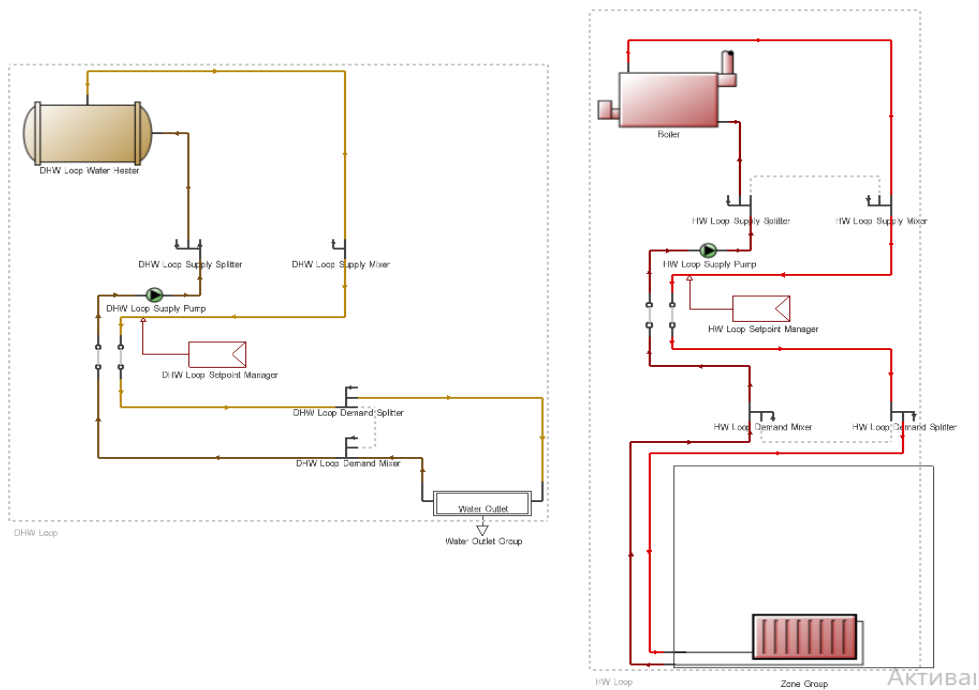


Рис. 4. Інженерні системи житлової будівлі під час енергетичного моделювання

Задавалися характеристики огорожень будівлі, параметри мікроклімату приміщень і режими експлуатації у відповідних розділах програмного продукту. У розділі «HVAC system» було обрано тип системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання з прийнятими параметрами теплоносія. Схематичне зображення системи інженерних систем наведено на рис. 4. В результаті енергетичного моделювання було побудовано графіки: енергетичні баланси, витрати палива, навантаження; графіки температури, швидкості і тиску повітря, сонячної радіації; параметри умов комфортності (температури, вологості, CO₂). Програма створює звіт з погодинними значеннями та результатами розрахунків, будує графіки для порівняння енергоспоживання.

Від фактичних даних (за показами лічильників) у побудованій моделі споживання теплоенергії відрізняється на 2,6% , а електроенергії на 1%, тому можемо вважати, що модель з достатнім ступенем точності передає фактичне споживання будівлі (1776725 кВт-год/рік теплової енергії та 311489 кВт-год/рік електричної енергії).

Для моделі baseline порівняно з фактичною моделлю спостерігається ріст споживання теплоти на 17 %. Після реалізації запропонованих заходів маємо зниження споживання на 27%. Для порівняння результатів створено модель житлового будинку у програмному продукті RETscreen, що має меншу функціональність. Фактичний стан був прийнятий за базовий рівень, а далі визначалося споживання після впровадження пропозицій з підвищення енергоефективності, результати зведено у табл. 3.

Таблиця 3

**Порівняння споживання теплової енергії при моделюванні
 в DesignBuilder та RETscreen**

Модель	Actual	Baseline	Proposed
DesignBuilder			
Абсолютне значення	1823966	2084025	1521338
Відхилення	2,6% від фактичного	17,3% від фактичного	27% від «Baseline» 17% від фактичного
RETscreen			
Абсолютне значення	-	2001068	1400780
Відхилення	-	11,2% від фактичного	30% від «Baseline» 21% від фактичного

Програма DesignBuilder не має можливості розподілення витрат енергії на енергопотребу і енергоспоживання, що потрібно аналізувати при енергетичній сертифікації [2]. RETscreen дозволяє розрахувати споживання теплової та електричної енергії та виконувати розрахунок дисконтованого терміну окупності пакету заходів з термомодернізації, але має обмеження щодо урахування характеристик огорожень, інженерних систем та обладнання.

Для досліджуваної будівлі також було побудовано 3D модель (рис. 5) в спеціалізованому програмному продукті Audytor OZC, що використовується енергоаудиторами в Україні, визначено енергетичні характеристики будівлі до та після впровадження пакету заходів «Максимальний». Отримано, що після комплексної термомодернізації і реалізації заходів щодо інженерних систем теплове навантаження зменшиться до 0,723 МВт, а розрахункова енергопотреба будівлі – на 49,5%.

Для даної будівлі на даху надбудови дахової котельні запропоновано встановити сонячну електростанцію (СЕС) та сонячні колектори з підключенням до електромережі (табл. 4). Споживання на потреби МЗК складає 44700 кВт-год, запропонована СЕС компенсує 38,9%. У будівлі запроєктовано централізоване ГВП від котельні, яка не експлуатується, гаряча вода готується у поквартирних електробойлерах. Пропонується частково готувати

гарячу воду за допомогою енергії сонця. За допомогою програмних продуктів PV-Sol Premium та T-Sol було проведено підбір систем [10].

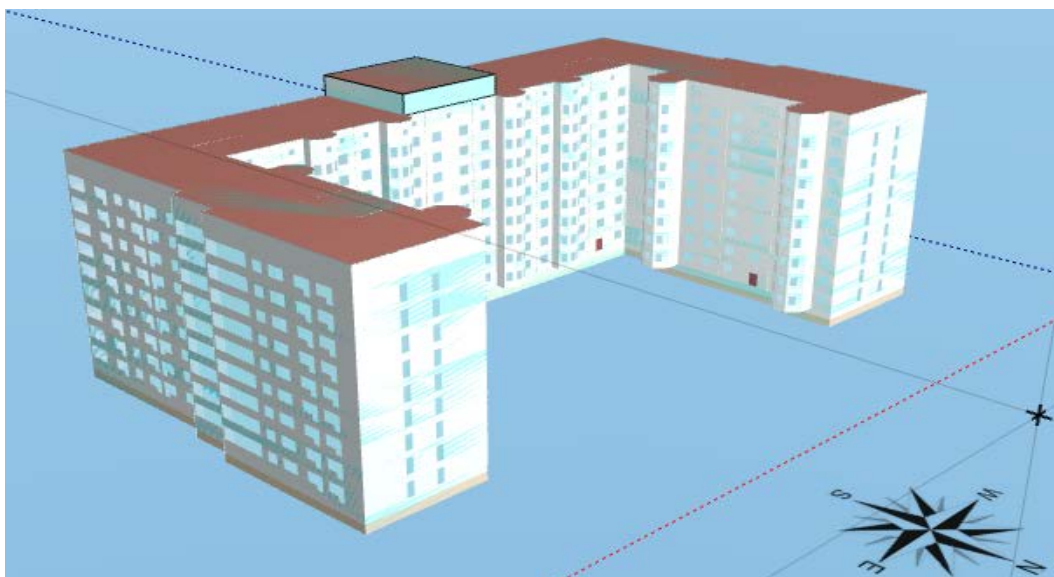


Рис. 5. Модель будівлі у програмному продукті Audytor OZC

Таблиця 4

Оцінка можливостей використання сонячної енергії

Найменування	Значення
Параметри сонячної електростанції: сонячні модулі фірми «JaSolar» моделі JAM72S10-400MR, інвертор «Huawei Technologies» типу «SUN2000-12KTL-M1»	
Вихідна потужність, кВт	54
Коефіцієнт продуктивності, %	65,5
Негативний вплив через затінення, %/рік	28,7
Річна генерація (мережа змінного струму), (кВт·год)/рік	46661
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	21887
Споживання від ФЕС/ від загальної мережі	17848 / 26946
Рівень самозабезпечення, %	38,9
Параметри системи сонячних колекторів: 203 вакуумних сонячних колектори, типу «Vitosol 200-T SD2» (Viessmann), підключені до баку-акумулятора	
Теплова потужність системи, кВт	274,16
Загальна площа поверхні колекторів, м ²	584,6
Частка заміщення ГВП, %/рік / Ефективність системи, %	58 / 48,1
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	72717,42

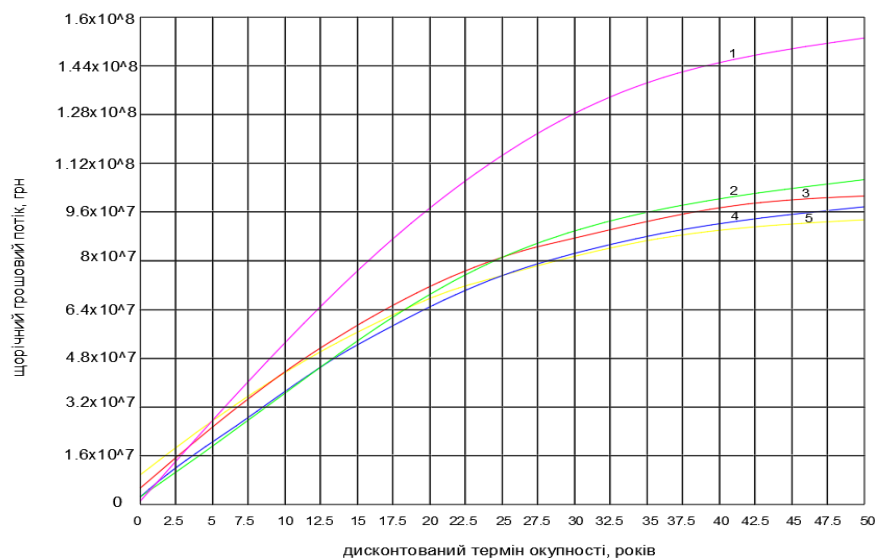
Результати вибору джерела теплоти на основі аналізу руху грошових коштів

Останні дослідження підходів щодо оцінки термомодернізації будівлі показують необхідність застосування аналізу життєвого циклу будівлі та врахування соціальних аспектів. Вибір джерела теплоти в комплексі з огороженнями будівлі на базі функції інтегрованої вартості запропоновано і описано в роботі [13]. Вибір джерела теплоти можна здійснювати за допомогою методу аналізу руху грошових потоків:

$$B = \sum_{t=0}^n \frac{B_t^{\text{обслг}}}{(1+E)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{B_t^{\text{енерг}}(1+l \cdot t)}{(1+E)^t} + I_o + I_{із} + I_{со}, \quad (1)$$

де $B_t^{\text{енерг}}$ – річні затрати за спожиті енергоносії, грн;
 $B_t^{\text{обслг}}$ – інші затрати, грн;
 I_o – капітальні затрати на придбання теплогенеруючого обладнання, грн;
 $I_{із}$ – витрати, направлені на покращення теплового захисту будівлі, грн;
 $I_{со}$ – витрати на придбання приладів опалення, грн;
 l – коефіцієнт, що враховує приріст цін на енергоносії;
 n – час, для якого визначаються інтегральні дисконтовані витрати, роки;
 E – ставка дисконтування відповідно до рівня інфляції, типу фінансування, долей;
 B – чиста теперішня вартість системи «джерело–прилад опалення–огородження».

Метод дозволяє оцінити термін окупності для заходів з термомодернізації будівлі з різними системами теплопостачання з урахуванням багатьох факторів. Враховуючи, що реальний ККД котлів, що експлуатуються в даховій котельні, є значно нижче ніж паспортний, було розглянуто два варіанти модернізації: сучасні газові котли або електрокотли. З отриманого графіку (рис. 6) видно, що дисконтований термін окупності для газових котлів складає 12,5 років, а для електричних котлів – 9 років (розрахунки виконані для цін і тарифів довоєнного стану).



1 – централізоване теплопостачання;
 2 – газовий котел до термомодернізації;
 3 – електричний котел до термомодернізації;
 4 – газовий котел після термомодернізації;
 5 – електричний котел після термомодернізації

Рис. 6. Розрахунок грошових потоків на основі методу інтегрованої вартості

Висновки. В ході дослідження виконано детальне енергетичне обстеження житлової будівлі, необхідні вимірювання, інженерно-економічні розрахунки та розроблено три пакети енергозберігаючих заходів. З метою детального вивчення умов експлуатації інженерних систем проведено опитування мешканців з метою урахування громадської думки та визначено пріоритетність впровадження заходів, які можуть бути підтримані загальними зборами ОСББ. Для вивчення енергетичних характеристик виконано енергетичне моделювання в програмних продуктах з побудовою 3D моделей. Застосування спеціалізованих програмних продуктів дозволяє визначити структуру енергоспоживання та потенціал енергозбереження житлових будівель для різних вихідних умов відносно фактичного та базового рівня з урахуванням не тільки технічних аспектів, але й соціальних. Виконано оцінку можливостей використання сонячної енергії для будинку та за допомогою програмних продуктів PV-Sol Premium та T-Sol

було проведено підбір систем. Проведено необхідні розрахунки та здійснено вибір джерела теплоти в комплексі з огороженнями будівлі на базі функції інтегрованої вартості.

References

Література

1. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities. 2010, L153. p. 13-35.
2. On energy efficiency of buildings: Law of Ukraine [On the energy efficiency of buildings: Law of Ukraine №2118-VIII 03.08.2022]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> [in Ukrainian].
3. DBN V.2.6–31:2021 Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Kyiv. 27 p. [in Ukrainian].
4. Pavlenko, A. M. (ed.) (2020). Efficiency of using energy in housing sector. Kielce, Politechnika Świętokrzyska. 155 p.
5. Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2019). Enerhoefektyvnyi kampus KPI: instrumenty ta metody doslidzhen [KPI energy efficient campus: tools and research methods]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky – Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Technical Sciences Series*, 4 (136), 97–105 [in Ukrainian].
6. Shovkaliuk, M. M., Vashchyshyn, R. L. (2021). Analiz enerhetychnykh kharakterystyk budivli navchalnoho korpusu skladnoi konfigurasii iz rozrobkoiu propozytsii po pidvyshchenniu enerhoefektyvnosti [Analysis of the energy characteristics of the building of the educational building of a complex configuration with the development of proposals for increasing energy efficiency]. *Tekhnologii ta inzhynirynh – Technologies and engineering*, 3, 49–59 [in Ukrainian].
7. Korzhenko, O. V., Shovkaliuk, M. M. (2020). Porivniannia prohramnykh produktiv dlia modeliuvannia enerhospozhyvannia budivli [Comparison of software products for building energy consumption simulation]. *Tezy Mizhnar. int.-konf. "Shliakhy rozvytku nauky v suchasnykh kryzovykh umovakh" – Theses I international int.-conf. "Paths of development of science in modern crisis conditions"* (28–29.05.2020). Dnipro. Vol. 1, P. 495–496 [in Ukrainian].
8. Deshko, V., Bilous, I., Shovkaliuk, M., Hurieiev, M. (2020). Evaluation of differentiated impact of apartment building occupants' behavior on energy consumption. *2020 IEEE 7th International conference on smart system*. Kyiv, Ukraine, May 12–14. P. 196–200.
9. Shovkaliuk, M. M., Pakhunova, K. Yu. (2020). Sotsialni aspekty pid chas vyboru zakhodiv z enerhozberezhennia dlia zhytlovykh budivel [Social aspects when choosing
1. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Communities*. 2010. L153. P. 13–35.
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України №2118-VIII від 03.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>.
3. ДБН В.2.6–31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. К., 2021. 27 с.
4. Efficiency of using energy in housing sector. Under the general editorship of A. M. Pavlenko. Kielce, Politechnika Świętokrzyska, 2020. 155 p.
5. Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Енергоефективний кампус КПІ: інструменти та методи досліджень. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 4 (136). С. 97–105.
6. Шовкалюк М. М., Ващишин Р. Л. Аналіз енергетичних характеристик будівлі навчального корпусу складної конфігурації із розробкою пропозицій по підвищенню енергоефективності. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 3. С. 49–59.
7. Корженко О. В., Шовкалюк М. М. Порівняння програмних продуктів для моделювання енергоспоживання будівлі. *Тези доп. I міжнар. інт.-конф. "Шляхи розвитку науки в сучасних кризових умовах"* (28–29.05.2020). Дніпро, 2020. Т. 1. С. 495–496.
8. Deshko V., Bilous I., Shovkaliuk M., Hurieiev M. Evaluation of differentiated impact of apartment building occupants' behavior on energy consumption. *2020 IEEE 7th International conference on smart system*. Kyiv, Ukraine, May 12–14, 2020. P. 196–200.
9. Шовкалюк М. М., Пахунова К. Ю. Соціальні аспекти під час вибору заходів з енергозбереження для житлових будівель.

- energy saving measures for residential buildings]. *Tezy V Vseukr. nauk-prakt. konf. "Enerhoefektyvnist: nauka, tekhnologii, zastosuvannia" – Theses V Ukrainian science and practice conf. "Energy efficiency: science, technology, application"* (25.11.2020). Kyiv. Vol. 1, P. 47–52 [in Ukrainian].
10. Shovkaliuk, M. M., Pakhunova, K. Yu. (2021). Otsinka mozhlyvosti vykorystannia soniachnoi enerhii dlia zhytlovoi bahatokvartyrnoi budivli [Assessment of the possibilities of using solar energy for a residential multi-apartment building]. *Materialy II mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. – Materials of the 2nd International Scientific and Practical Internet Conference (Berdiansk, 29.10.2021)*. P. 70–73 [in Ukrainian]
11. Shovkalyuk, M. M., Politykina, N. V. (2018). Otsinka enerhetychnykh parametriv bahatokvartyrnoho budynku z dakhovoiu kotelnei ta mozhlyvosti spivfinansuvannia enerhozberihaiuchykh zakhodiv [Assessment of the energy parameters of an apartment building with a rooftop boiler room and the possibility of co-financing energy-saving measures]. *International scientific and practical conference "Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine"* (Poland, 21–22 December 2018). P. 138–142 [in Ukrainian].
12. Sait z pohodnymy failamy prohrannoho zabezpechennia EnergyPlus [Website with weather files of EnergyPlus software]. URL: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/UKR%20%20 [in Ukrainian].
13. Deshko, V., Buiak, N. (2009). Ekonomichno dotsilnyi teplovyi zakhyst budivli z riznymy dzherelamy teploty [Economically feasible thermal protection of a building with various heat sources]. *Naukovi visti Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut" – Scientific news of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, № 3, P. 74–81 [in Ukrainian].
- Тези V Всеукр. наук-практ. конф. "Енерго-ефективність: наука, технології, застосування" (25.11.2020). Київ, 2020. Т. 1. С. 47–52.
10. Шовкалюк М. М., Пахунова К. Ю. Оцінка можливостей використання сонячної енергії для житлової багатоквартирної будівлі. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (Бердянськ, 29 жовтня 2021 р.). С. 70–73.
11. Шовкалюк М. М., Політикін Н. В. Оцінка енергетичних параметрів багатоквартирного будинку з даховою котельнею та можливості співфінансування енергозберігаючих заходів. *Intern. scientific and pract. conf. "Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine"* (Poland, 21–22.12.2018). P. 138–142.
12. Сайт з погодними файлами програмного забезпечення EnergyPlus. URL: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/UKR%20%20.
13. Дешко В. І., Буйак Н. А. Економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти. *Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. 2009. № 3. С. 74–81.

SHOVKALIUK MARYNA

PhD, Ass.Professor

Educational and Scientific Institute of Energy Saving and Energy Management National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<http://orcid.org/0000-0002-1898-3493>

Scopus Author ID: 57220179453

Researcher ID: K-5822-2017

E-mail: madam.mari@gmail.com

PAKHUNOVA KATERYNA

Master

Educational and Scientific Institute of Thermal and Nuclear Power Engineering National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<http://orcid.org/0000-0002-4572-0664>

E-mail: pahunovakaterina845@gmail.com

SHEVCHENKO OLENA

PhD, Ass.Professor

*Educational and Scientific Institute of Thermal
and Nuclear Power Engineering*

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute", Ukraine*

<http://orcid.org/0000-0001-9304-5432>

Scopus Author ID: 55839779200

Researcher ID: AAK-1436-2020

E-mail: alenashevchenko@ukr.net

¹SHOVKALIUK M. M., ²PAKHUNOVA K. Yu., ²SHEVCHENKO O. M.

*¹Educational and Scientific Institute of Energy Saving and Energy Management
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine*

*²Educational and Scientific Institute of Thermal and Nuclear Power Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine*

ANALYSIS OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF THE RESIDENTIAL HOUSE TAKING INTO SOCIAL AND EXPLOITATIVE FACTORS

Introduction. *In view of the energy dependence of Ukraine, improving the energy efficiency of the housing stock is an extremely urgent task. The building is a complex energy system, for the study of which a systematic approach is used; therefore, the methods of energy modeling using software systems become relevant.*

Purpose. *Conducting an energy survey with a survey of residents and determining energy characteristics using software products for energy auditors for modeling and equipment selection.*

Methodology. *The study included instrumental measurements, a feasibility study using engineering calculation methods, a survey of residents, modeling in specialized software products RETScreen, DesignBuilder, Audytor OZC, PV-SOL and T-SOL; the integrated cost method was used to select the heat source.*

Findings. *The structure of energy consumption of the building was obtained and an assessment of the energy saving potential was carried out, taking into account the features of operation and technical capabilities; three packages of energy-saving measures have been proposed. Using the developed models in specialized programs, modeling of energy consumption before and after the implementation of measures was carried out and equipment for the use of solar energy was selected. The study was carried out as part of the work on a master's thesis.*

Originality. *The possibilities of different software for modeling the energy characteristics of a residential building are considered, a comparative analysis of the results and the choice of one of the measures based on cash flow analysis*

Practical value. *With the help of the software, 3D models were built and applied studies of energy characteristics were carried out and proposals were developed for the thermal modernization of an existing residential building, taking into account the actual operating conditions, three packages of measures "Minimum", "Optimal", "Maximum" were proposed.*

Keywords: *energy saving; thermal modernization; residential building; energy consumption modeling.*

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.6>

УДК 677.072:
677.494: 677.01

ДМИТРИК О. М., БОБРОВА С. Ю.,
ГАЛАВСЬКА Л. Є., ЄЛІНА Т. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРИВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОЇ ПАРА-АРАМІДНОЇ НИТКИ

Мета. Виявити фактори, що впливають на характеристики міцності комплексних пара-арамідних ниток.

Методика. У роботі використано стандартизований метод дослідження розривальних характеристик ниток згідно з ДСТУ ISO 2062:2004 з використанням розривної машини WDW-5ES, основні положення текстильного матеріалознавства та теорії в'язання, методи аналізу та синтезу одержаних результатів.

Результати. З метою виявлення факторів, що впливають на розривальні характеристики пара-арамідних ниток, у ході експериментальних досліджень змінювали кількість ниток, що піддається розриву, затискну довжину та точку переплетення ниток по відношенню до рухомого затискача у разі дослідження міцності ниток петлею. При цьому затискна довжина змінювалася в діапазоні від 25мм до 300мм. У разі розривання нитки петлею затискна довжина залишалася незмінною і становила 100 мм, а розташування точки переплетення ниток по відношенню до затискачів визначалось як 25x75мм, 50x50мм, 75x25мм.

Наукова новизна. Встановлено закономірності впливу кількості ниток, що піддаються розриву, затискної довжини та розташування точки переплетення у разі дослідження міцності нитки на розрив петлею на величину розривального зусилля та видовження комплексних пара-арамідних ниток.

Практична значимість. Одержані результати досліджень щодо характеру руйнування комплексної пара-арамідної нитки під дією розривального зусилля можуть бути використані в комп'ютерних системах імітаційного моделювання у ході реалізації віртуальних експериментів з визначення фізико-механічних характеристик трикотажу на основі його 3D моделі.

Ключові слова: нитки підвищеної міцності; пара-арамідна нитка; розривальне навантаження; розривальне видовження; розрив петлею.

Вступ. Сфери застосування синтетичних волокон з кожним днем розширюються завдяки їх унікальним фізичним, термічним та хімічним властивостям, що обумовлюють функціональне призначення готових текстильних виробів. Питання вибору сировини є визначальним для отримання заданих властивостей захисних текстильних матеріалів та виробів від різного роду небезпек – екологічних, кліматичних, механічних тощо. У виробництві захисного текстилю від механічних загроз в усьому світі найбільш затребуваними беззаперечно залишаються пара-арамідні (pA) волокна, які випускаються виробниками під різними торговими марками. Обсяг їх виробництва постійно зростає у зв'язку з розширенням сфер використання [1].

Основні переваги pA волокон, що дозволяють їх використовувати для виготовлення широкого асортименту спеціальних захисних виробів, засобів індивідуального захисту та елементів захисту автомобільної, авіаційної та іншої техніки – підвищена міцність, висока зносостійкість, стійкість до порізів, вогню, високих температур, корозії, органічних та хімічних розчинників [2]. Функціональні властивості даних волокон роблять текстильні матеріали на їх основі привабливими кандидатами для виробництва сучасних засобів індивідуального захисту, у тому числі й балістичного захисту [3–5].

Повномасштабне вторгнення росії на територію України спричинило зростання попиту на текстильні матеріали підвищеної міцності для формування речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців. Через порушення внаслідок війни логістичних зв'язків у

постачанні імпорتنих захисних текстильних матеріалів виникла потреба у налагодженні їх власного виробництва. Для виготовлення текстильних матеріалів із заданими характеристиками захисту від дії механічних та температурних уражень ПА нитки є найкращим варіантом, що присутні на ринку сировини балістичного призначення. Проте, такі види сировини мають свою специфіку переробки на технологічному обладнанні та потребують вивчення факторів, що впливають на втрату їх міцності.

У ході попередніх досліджень [6, 7] нами виявлено, що на втрату міцності комплексних пара-арамідних та поліетиленових ниток після їх переробки в структуру трикотажу впливає тип плосков'язального обладнання, що обумовлює певні особливості формування петель у процесі петлетворення. Таким чином, встановлено, що величина втрати міцності залежить від кута обхвату ниткою робочих органів в'язальної машини, зусилля відтягування полотна, природи та особливостей будови нитки підвищеної міцності. Для прогнозування втрати міцності нитки у процесі в'язання трикотажу необхідно попередньо дослідити фактори, що впливають на її розривальні характеристики як вихідної сировини. У роботі [8] нами висвітлено результати досліджень впливу різноманітних факторів на розривальні характеристики комплексних поліетиленових ниток, а саме, кількість ниток, що опирається розриву, затискна довжина та розташування точки переплетення ниток у разі дослідження петлею. Однак рА нитки відрізняються за своєю молекулярною будовою від поліетиленових ниток. Тому, для прогнозування їх поведінки під дією розтягуючих зусиль також слід попередньо дослідити їх розривальні характеристики.

Авторами роботи [9] встановлено закономірності впливу глибини кулірування та лінійної густини рА нитки на втрату її міцності у процесі в'язання. Однак у ході досліджень не акцентується увага на факторах, що обумовлюють рівень розривального зусилля вихідної сировини.

Роботи [10–12] присвячені дослідженню втрати міцності пара-арамідних ниток у процесі ткацтва. Авторами виявлено, що нитки основи значно більше деформуються і втрачають свою міцність порівняно з нитками утку, оскільки у процесі формування зіву, в який прокладається утокова нитка, вони більше контактують з робочими органами ткацького верстата, що зумовлює руйнування окремих філаментів. Проте, одержані результати можуть бути використані лише для прогнозування втрати міцності тканих текстильних матеріалів, які за своєю будовою не дають ниткам вільно переміщуватися в структурі та призводять до додаткового руйнування окремих філаментів. Натомість, у разі трикотажного способу виготовлення текстильного матеріалу, нитка у процесі петлетворення зазнає розтягуючих зусиль, тертя та деформації вигину внаслідок постійного переміщення у ході огинання робочих органів в'язальних машин. Крім того, після формування петель під дією зусилля відтягування полотна нитки в петлях переміщуються з голкових та платинних дуг у палички та навпаки. Тертя нитки об нитку, що виникає у точках переплетення, обумовлює часткове руйнування окремих філаментів та втрату її міцності.

Також широкого застосування набувають дослідження [13, 14] з виготовлення захисних виробів з рА пряжі, яку одержано шляхом поєднання первинних та перероблених з відходів рА волокон. Це обумовлено тим, що дані волокна не розкладаються, а при їх утилізації шляхом спалювання утворюються токсичні гази, що завдає шкоди довкіллю. Авторами роботи [13] у результаті випробувань доведено, що за стійкістю до порізів рукавички, виготовлені з пряжі з суміші первинних і перероблених рА волокон (50:50) не поступаються рукавичкам, виготовленим з пряжі з первинних рА волокон. Це вказує на доцільність вторинної переробки рА волокон при виготовленні на їх основі пряжі. Однак у нашому випадку ми маємо справу з комплексною багатофіламентною пара-арамідною ниткою, яка має відмінну від пряжі будову та характер руйнування під дією розтягуючих зусиль.

Постановка завдання. Аналіз наукових досліджень дозволяє зробити висновок, що проблема визначення факторів, що впливають на характеристики руйнування ПА нитки та втрати міцності під час її переробки саме на в'язальному обладнанні, у наукових роботах вивчені не достатньо. Слід взяти до уваги, що у процесі виготовлення трикотажного полотна комплексна ПА нитка піддається значному згину та тертю при проходженні робочих органів в'язальної машини з малим радіусом кривизни, що в свою чергу може призвести до руйнування структури та в подальшому спричинити втрату її міцності.

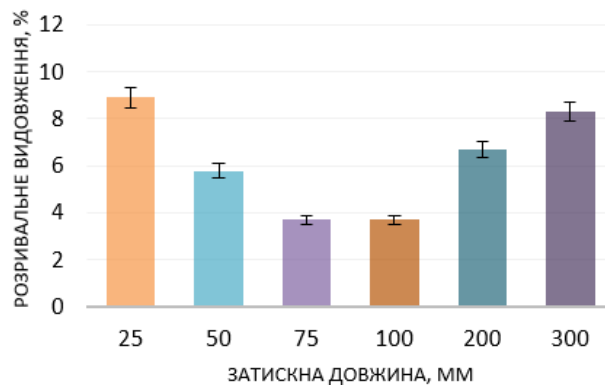
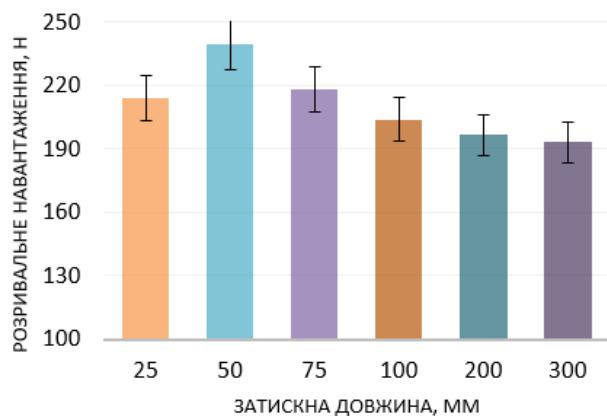
Основною задачею роботи є визначення факторів, що впливають на розривальні характеристики *pA* нитки. Одержані результати щодо характеру руйнування комплексної *pA* нитки під дією розривального зусилля можуть бути у подальшому використані в комп'ютерних системах імітаційного моделювання під час проведення віртуальних експериментів з визначення фізико-механічних властивостей трикотажних матеріалів на підставі 3D моделей їх структури, що враховують характеристики нитки.

Об'єкти і методи досліджень. Об'єктом дослідження є процес руйнування під дією прикладеного розривального зусилля комплексної багатофіламентної пара-арамідної нитки лінійної густини 44текс компанії Shaanxi Sunriseetech Co., Ltd. (Китай). Для проведення досліджень розривальних характеристик використано стандартизований метод дослідження розривальних характеристик ниток згідно з ДСТУ ISO 2062:2004 [15]. Випробування реалізовано на розривній машині WDW-5ES 05M з нижнім нерухомим затискачем та верхнім, що рухається зі сталою швидкістю.

Результати досліджень. Для виявлення факторів, що впливають на розривальні характеристики ПА ниток, у ході випробувань змінювали затискну довжину від 25 мм до 300 мм та за умови сталої затискної довжини (100мм) змінювали розташування точки переплетення ниток по відношенню до нижнього та верхнього затискачів розривної машини (25x75 мм, 50x50 мм, 75x25 мм). При цьому для встановлення характеру впливу кількості ниток, що опирається розриву, на величину розривального зусилля та видовження у ході випробувань використано проби з *pA* ниток лінійної густини 44 текс у 3 та 6 кінців.

За результатами випробувань побудовано діаграми розривального навантаження та видовження комплексної *pA* нитки, які наведено на рис. 1–3. Оскільки дослідження проведено з *pA* ниткою у 3 та 6 кінців, то для співставлення одержаних результатів пропонується оперувати величиною питомого розривального зусилля, тобто зусилля, що припадає на одну нитку. Залежність для розрахунку питомого розривального зусилля наведена нами у попередній роботі [8], присвяченій дослідженню розривальних характеристик комплексних поліетилєнових ниток.

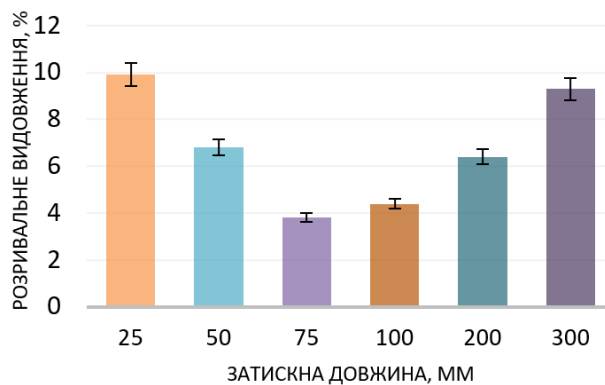
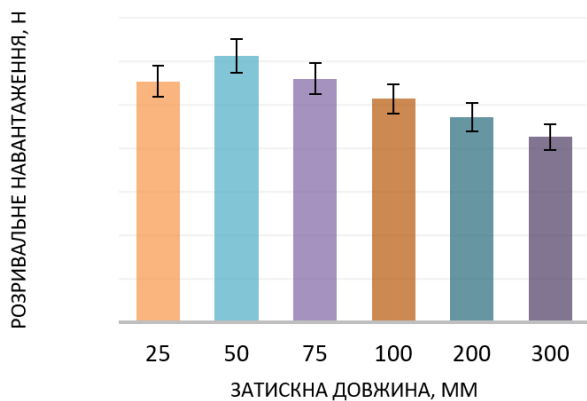
Співставлення одержаних результатів щодо величини розривального навантаження у разі формування дослідної проби з 3 та 6 паралельно розташованих *pA* ниток, вказує на те, що найбільша величина розривального зусилля спостерігається при затискній довжині 50 мм. Подальше збільшення затискної довжини вимірювальної проби у діапазоні 50 мм÷300 мм призводить до зменшення розривального зусилля. Результати випробувань вказують на те, що опір, який чинять пара-арамідні нитки при заправці їх у затискачах розривної машини у 6 кінців порівняно із заправкою у 3 кінці, пропорційно у двічі більший. Відмінність полягає у разі заправки ниток лінійної густини 44 текс×3 петлею. У такому випадку сумарна лінійна густина складає 44 текс×6. При цьому у центрі проби розташована точка переплетення ниток. Слід зазначити, що за умови наявності в центрі проби точки переплетення у вигляді петлі (рис. 4а) характер зміни розривального навантаження відповідно до затискної довжини порівняно з пробями з нитки 44 текс у 6 кінців. Зміна затискної довжини у діапазоні 50 мм ÷ 200 мм не призводить до суттєвих змін величини навантаження, яке витримує проба на момент розриву.



а

б

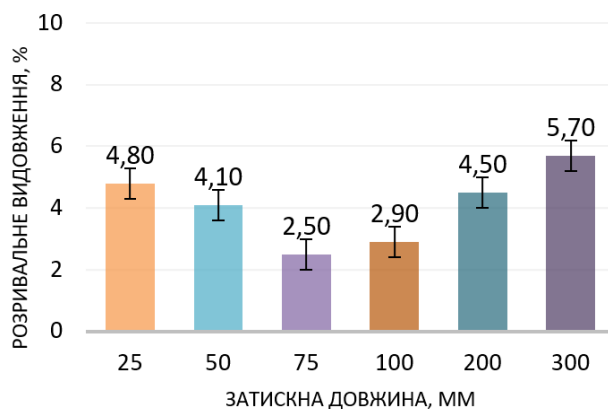
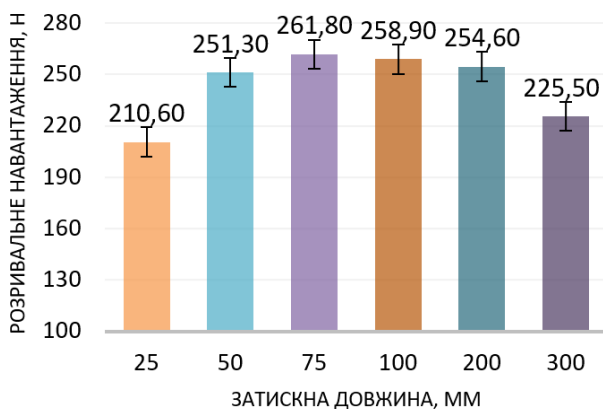
Рис. 1. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці у затискачі 3 pA ниток лінійної густини 44 текс



а

б

Рис. 2. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці у затискачі 6 pA ниток лінійної густини 44 текс



а

б

Рис. 3. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці петлею pA нитки лінійної густини 44 текс×3

Слід зауважити, що на величину розривального видовження зміна затискної величини має інший характер впливу. А саме: збільшення затискної довжини у діапазоні 25÷75 мм призводить до зменшення розривального видовження, а подальше збільшення затискної довжини – до зростання його величини (рис. 16 та рис. 26). При цьому кількість ниток у заправці не має суттєвого впливу на величину відносного розривального видовження та знаходиться в межах похибки вимірювань.

Наявність у досліджуваній пробі точки переплетення у вигляді петлі (рис. 4 а) не впливає на характер зміни відносного розривального видовження. Аналогічно спочатку величина відносного розривального видовження зменшується у діапазоні затискної довжини 25 мм÷75 мм, а потім зростає у діапазоні затискної довжини 100 мм÷300 мм. Але порівняно з пробами з нитки 44 текс у 6 кінців відносно розривальне видовження проб з розташуванням ниток 44 текс у 3 кінці петлею зменшується у понад 1,5 рази (рис. 3б та рис. 2б). Таким чином, наявність точки переплетення у вигляді петлі впливає не на характер зміни, а саме на величину розривального видовження. Встановлені закономірності зміни величини розривального зусилля та відносного видовження слід враховувати у разі реалізації віртуальних експериментів з визначення механічних характеристик структури трикотажу в системах комп'ютерного моделювання.

Нитки в структурі трикотажу зігнуті у петлі та мають точки переплетення, наявність яких впливає на механізм деформації розриву трикотажного матеріалу. Для виявлення характеру руйнування ниток у точці переплетення досліджено проби з двох ниток лінійної густини 44 текс×3 петлею (рис. 4а) при затискній довжині 100 мм. Таким чином сумарна лінійна густина відповідала нитці лінійної густини 44 текс у 6 складень. При цьому для виявлення характеру впливу зміни положення точки переплетення по відношенню до рухомого затискача розривної машини на відрізок незмінної величини затискної довжини зміщували положення точки переплетення на відстань 25 мм, 50 мм та 75 мм по відношенню до нерухомого затискача (рис. 4б). На рис. 4в наведено заправку ниток петлею (25 мм×75 мм) у затискачах розривної машини. Рис. 4г наглядно ілюструє характер розриву ниток при їх заправці петлею.

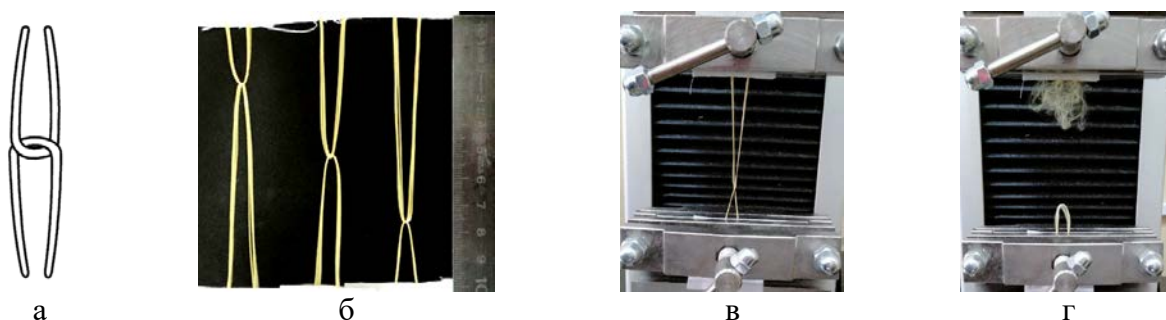


Рис. 4. Схема заправки нитки петлею у затискачах розривної машини

На підставі одержаних результатів щодо величини розривального навантаження та видовження у разі дослідження ниток при їхній заправці петлею побудовані відповідні діаграми (рис. 5).

Як видно з діаграм (рис. 5а), зміщення точки переплетення ниток до рухомого затискача призводить до зменшення розривального навантаження, що обумовлено зростанням зусилля, яке припадає на одиницю довжини відрізка нитки від точки переплетення до верхнього рухомого затискача. При цьому зростання розривального видовження (рис. 5б) пояснюється збільшенням відрізка нитки від нерухомого затискача до точки переплетення, в якій зосереджена основна розривальна напруга.

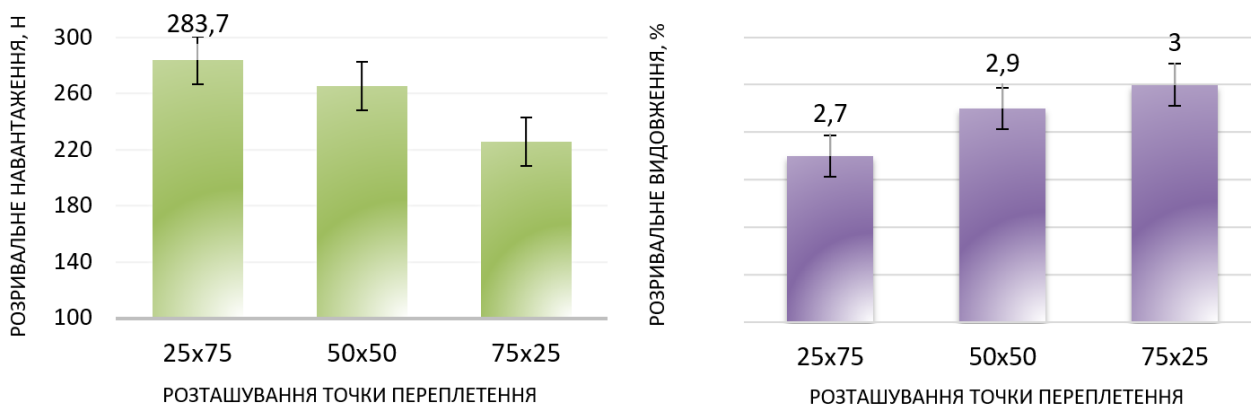


Рис. 5. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці у затискачі рА нитки лінійної густини 44 текс×3 петлею

Висновок: за результатами проведених випробувань встановлено, що величина розривального навантаження корелюється з кількістю ниток, що опирається розриву. При цьому величина відносного розривального видовження не залежить від кількості ниток. У разі дослідження петлею у діапазоні затискної довжини 50мм±200мм величина розривального зусилля, яке витримує проба, залишається незмінною. У ході дослідження розривальних характеристик пара-арамідних ниток лінійної густини 44текс у 6 кінців при їх паралельному розташуванні та петлею виявлено, що наявність точки переплетення у центрі проби призводить до зменшення величини розривального видовження у понад 1,5 рази.

Подяка. Робота виконана у рамках 16.04.73 ДБ, 2021–2022 рр. «Розробка багатофункціональних трикотажних полотен та виробів для формування речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців».

References

1. Korchak, Yu., Korchak, L. (2016). Materialy dlia vyhotovlennia bronezhyletiv: suchasnyi stan i perspektivu [Materials for the manufacture of body armor: current situation and prospects]. *Elektronika ta informatsiini tekhnologii = Electronics and information technologies*, 6: 54–71 [in Ukrainian].
2. Seretis G. V., Kostazos P. K., Manolakos D. E., Provatidis C. G. (2015). On the mechanical response of woven para-aramid protection fabrics. *Composites Part B: Engineering*, 79: 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.025>.
3. Bilisik, K. (2011). Properties of yarn pull-out in para-aramid fabric structure and analysis by statistical model. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(12): 1930–1942. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.08.018>.
4. Beex, L. A. A., Verberne, C. W., Peerlings, R. H. J. (2013). Peerlings, Experimental identification of a lattice model for woven fabrics: Application to electronic textile. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*,

Література

1. Корчак Ю., Корчак Л. Матеріали для виготовлення бронезилетів: сучасний стан і перспективи. *Електроніка та інформаційні технології*. 2016. № 6. С. 54–71.
2. Seretis G. V., Kostazos P. K., Manolakos D. E., Provatidis C. G. On the mechanical response of woven para-aramid protection fabrics. *Composites Part B: Engineering*. 2015. Vol. 79. P. 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.025>.
3. Bilisik K. Properties of yarn pull-out in para-aramid fabric structure and analysis by statistical model. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2011. Vol. 42, Iss. 12. P. 1930–1942. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.08.018>.
4. Beex L. A. A., Verberne C. W., Peerlings R. H. J. Experimental identification of a lattice model for woven fabrics: Application to electronic textile. *Composites Part A:*

- 48: 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.12.014>.
5. Shim V. P. W., Lim C. T., Foo K. J. (2001). Dynamic mechanical properties of fabric armour. *International Journal of Impact Engineering*, 25(1): 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(00\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(00)00038-5).
6. Dmytryk, O. M., Bezsmertna, V. I., Halavska, L. Ye. (2020). Vplyv typu viazalnogo obladnannia na pokaznyky vtraty mitsnosti polietylenovykh ta paraaramidnykh nytok pislia viazannia [The influence of the type of knitting equipment on the strengths of losing strength of polyethylene and paramid threads after knitting]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu = Bulletin of the Kherson National Technical University*, 1: 89–96 [in Ukrainian].
7. Dmytryk, O. M., Bezsmertna, V. I., Halavska, L. Ye. (2020). Vplyv typu ploskoviazalnogo obladnannia na petelnu strukturu trykotazhu, vyroblenoho z syrovyny pidvyshchenoi mitsnosti ta u poiednanni z metalevoiu mononytkoiu [Influence of type of flat knitting equipment on the loop structure of knitwear from high strength raw materials and in combination with metal monofilament]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriiia : Tekhnichni nauky = Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*, 1: 80–86 [in Ukrainian].
8. Bobrova, S. Yu., Dmytryk, O. M., Halavska, L. Ye., Yelina, T. V. (2021). Rozryvalni kharakterystyky kompleksnoi polietylenovoi nytky [Breaking characteristics of integrated polyethylene thread]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*, 4: 51–59 [in Ukrainian].
9. Bezsmertna, V. I., Halavska, L. Ye., Bobrova, S. Yu. (2019). Study of the loss of strength of para-aramid threads in the process of connecting knitted fabric. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Seriiia Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series Technical sciences*, 2(132): 51–59 [in Ukrainian].
10. Bajya, M., Majumdar, A., Butola, B. S. (2022). Criticality of inter-yarn friction in high-performance fabrics for the design of soft body armour. *Composites Communications*, Vol. 29, 100984. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.100984>.
11. Abteu, M. A., Boussu, F., Bruniaux, P., Loghin, C., Cristian, I., Chen, Y., Wang, L. (2020). Yarn degradation during weaving process and its effect on the mechanical behaviours of 3D warp interlock p-aramid fabric for industrial applications. *Journal of Industrial Textiles*, Applied Science and Manufacturing. 2013. Vol. 48. P. 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.12.014>.
5. Shim V. P. W., Lim C. T., Foo K. J. (2001). Dynamic mechanical properties of fabric armour. *International Journal of Impact Engineering*. 2001. Vol. 25, Iss. 1. P. 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(00\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(00)00038-5).
6. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу в'язального обладнання на показники втрати міцності поліетиленових та параарамідних ниток після в'язання. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. № 1 (72), Ч. 1. С. 89–96.
7. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу плосков'язального обладнання на петельну структуру трикотажу, виробленого з сировини підвищеної міцності та у поєднанні з металевою монониткою. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 1 (281). С. 80–86.
8. Боброва С. Ю., Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 4. С. 51–59.
9. Безсмертна В. І., Галавська Л. Є., Боброва С. Ю. Дослідження втрати міцності параарамідних ниток у процесі в'язання кулірного трикотажу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 2 (132). С. 51–59.
10. Bajya M., Majumdar A., Butola B. S. Criticality of inter-yarn friction in high-performance fabrics for the design of soft body armour. *Composites Communications*. 2022. Vol. 29, 100984. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.100984>.
11. Abteu M. A., Boussu F., Bruniaux P., Loghin C., Cristian I., Chen Y., Wang L. (2020). Yarn degradation during weaving process and its effect on the mechanical behaviours of 3D warp interlock p-aramid fabric for industrial

152808372093728. <https://doi.org/10.1177/1528083720937288>.
12. Elgohary, D. H., Elshakankery, M. H. (2020). Analysis of the Mechanical Properties of Kevlar 29 Woven Fabrics. *Journal of the TEXTILE Association*, 80 (6): 441–447.
13. Malik, M. H., Akhtar, N., Bakkar, A., Fraz, A. (2019). Comparison of cut-resistance performance of gloves made from virgin and recycled Para-Aramid fibres. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 507, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/507/1/012001>.
14. Irfan, M., Afzal, A., Nazir, A. et al. (2022). Development and characterization of protective gloves using waste para aramid fibers. *Journal of Industrial Textiles*, 52. <https://doi.org/10.1177/15280837221113363>.
15. DSTU ISO 2062:2004. Текстиль. Пряжа з паковань. Визначення розривального навантаження та видовження під час розриву [Textile. Yarn from packages. Determination of breaking load and elongation at break] (ISO 2062:1995, IDT) [in Ukrainian].
- applications. *Journal of Industrial Textiles*, 152808372093728. <https://doi.org/10.1177/1528083720937288>.
12. Elgohary D. H., Elshakankery M. H. Analysis of the Mechanical Properties of Kevlar 29 Woven Fabrics. *Journal of the TEXTILE Association*. 2020. 80 (6). P. 441–447.
13. Malik M. H., Akhtar N., Bakkar A., Fraz A. Comparison of cut-resistance performance of gloves made from virgin and recycled Para-Aramid fibres. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019. 507. 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/507/1/012001>.
14. Irfan M., Afzal A., Nazir A. et al. Development and characterization of protective gloves using waste para aramid fibers. *Journal of Industrial Textiles*. 2022. 52. <https://doi.org/10.1177/15280837221113363>.
15. ДСТУ ISO 2062:2004. Текстиль. Пряжа з паковань. Визначення розривального навантаження та видовження під час розриву (ISO 2062:1995, IDT).

BOBROVA SVITLANA

Candidate of Technical Science, Associate Professor
Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3381-9915>
Scopus Author ID: 57203865072
E-mail: bobrova.sy@knutd.com.ua

DMYTRYK OKSANA

Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8638-9632>
Scopus Author ID: 57225127346
E-mail: dmytryk.om@knutd.edu.ua

HALAVSKA LIUDMYLA

Doctor of Technical Science, Professor
Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6994-6641>
Scopus Author ID: 57191413261
ResearcherID: O-1750-2018
E-mail: galavska.ly@knutd.edu.ua

YELINA TETIANA

Candidate of Technical Science, Associate Professor
Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9310-0582>
Scopus Author ID: 57203861122
E-mail: yelina.tv@knutd.edu.ua

DMYTRYK O. M., BOBROVA S. Yu., HALAVSKA L. Ye. YELINA T. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

RESEARCH OF THE TEARING CHARACTERISTICS OF PARARAMID YARN

Purpose. Identify the factors affecting the strength characteristics of complex para-aramid yarns.

Methodology. The work uses a standardized method of research the tearing characteristics of yarns according to DSTU ISO 2062:2004 using a breaking machine WDW-5ES, the basic provisions of textile material science and the theory of knitting, methods of analysis and synthesis of the obtained results.

Results. In order to identify the factors that influence the tearing characteristics of PA threads, during experimental studies, the number of yarns subject to breaking, the clamping length and interweaving yarns point in relation to the movable clamp were changed in the case of testing the yarn strength by loop. At the same time, the clamping length varied in the range from 25 mm to 300 mm. In the event of a yarn breaking by loop, the clamping length remained unchanged and was 100 mm, and the location of the point of yarns interweaving in relation to the clamps was determined as 25x75mm, 50x50mm, 75x25mm.

Scientific novelty. The regularities of the influence of the number of yarns susceptible to breaking, the clamping length and the location of the interweaving point in the case of the study of the yarn strength at the loop break on the tensile strength and elongation have been established.

Practical significance. The obtained research results on the nature of the destruction of the complex para-aramid yarn under the breaking force can be used in computer simulation systems during the implementation of virtual experiments to determine the physical and mechanical characteristics of knitwear based on its 3D model.

Keywords: high-strength yarns; para-aramid yarn; tensile strength and elongation; loop breaking.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.7>

УДК 541.136

БУТЕНКО О. О., ЧЕРНИШ О. В., КУБАЙ Ю. О.,
ХОМЕНКО В. Г., БАРСУКОВ В. З., КУРИПТЯ Я. А.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІТІВ В ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТАХ

Мета: Дослідження впливу фізичних властивостей природних графітів на електропровідність полімерних покриттів.

Методика: Геометричні параметри частинок різнодисперсних графітів вивчалися методами оптичної та електронної мікроскопії. Зміна просторової електропровідності графітових порошків під дією зовнішнього навантаження визначалася за допомогою спеціально виготовленої комірки. З урахуванням анізотропних фізичних властивостей кристалів графіту при виготовленні композитів у полімерне зв'язувальне додавався диспергований технічний вуглець. Диспергування здійснювалось за допомогою ультразвуку в спиртовому середовищі. Як зв'язувальне дисперсних компонентів використовувався 10%-ий розчин полівінілбутиралу в етанолі. Товщина композиту на твердій поверхні задавалася за допомогою аплікатора. Поверхнева електропровідність фіксувалася чотирьохелектродним методом.

Результати: Досліджена залежність поверхневої електропровідності полімерних композитів від розмірів, форми та полідисперсності частинок графіту. При отриманні полімерних покриттів на основі графіту лакофарбовим методом виникає суттєва орієнтація двохвимірних частинок мінералу, що суттєво впливає на просторову електропровідність композита. Фактором, який обмежує електропровідність полімерних покриттів на основі крупнодисперсних графітів, є мікропори і дрібні тріщини, обумовлені низьким ущільненням таких частинок і великим об'ємом етанолу в 10%-му розчині полімерного зв'язувального. Ультразвук за певних умов приводить до розширення частинок графіту, що сприяє підвищенню електропровідності композитних покриттів.

Наукова новизна: Установлено, що зі збільшенням розмірів і зменшенням полідисперсності частинок лускатого графіту поверхнева електропровідність полімерного покриття зростає. Додавання до композиту дисперсних вуглецевих чи неорганічних добавок знижує дану електропровідність.

Практичне значення: Зростання поверхневої електропровідності полімерних композитів у екрануючих пристроях сприяє ефективності захисту людини та електроніки від негативного впливу електромагнітного випромінювання.

Ключові слова: графіт; композит; електропровідність; частинка; дисперсність; полімерне зв'язувальне; технічний вуглець.

Вступ. Графіт – унікальний природний матеріал, який знаходить широке застосування у техніці та повсякденному житті людини. Завдяки високій електропровідності, хімічній стійкості та низькій густині він здатен конкурувати з металами. Здатність графіту інтеркалювати літій зробила його незамінним при виготовленні літій-іонних акумуляторів [1, 2]. Останнім часом полімерні композити на основі цього матеріалу все ширше використовують як екрани, що захищають людину та електроніку від негативного впливу електромагнітного випромінювання [3–5].

Постановка завдання. Мета роботи – дослідження впливу фізичних властивостей природних графітів на електропровідність полімерних покриттів.

При практичному застосуванні графіту необхідно враховувати специфічні фізичні властивості його кристалів [6, 7]. Їх шарувата будова обумовлює близьку до металів електропровідність вздовж графенових шарів і в сотні разів меншу перпендикулярно до них. Оскільки в полімерному зв'язувальному частинки цього дисперсного мінералу орієнтовані досить хаотично, для електричного з'єднання графенових шарів частинок графіту до композиту додають дрібнодисперсний технічний вуглець з ізотропними фізичними

властивостями. При роботі з композитами на основі графітів слід мати на увазі, що на контакт між частинками може впливати температура, оскільки теплове розширення вздовж базисних площин до 427 °С негативне (графіт стискається), а в перпендикулярному напрямку позитивне (він суттєво розширюється) [8].

При виготовленні виробів на основі графіту необхідно враховувати геометричні параметри та чистоту його частинок. Так при синтезі алмазів використовують надчистий крупнодисперсний графіт, а при виготовленні електродів літій-іонних акумуляторів – чистий, але дрібнодисперсний графіт, який сприяє швидкій зарядці акумуляторів і практично не приводить до анізотропії фізичних властивостей електродів. Що стосується захисних екранів, то на їх ефективність у значній мірі впливає поверхнева електропровідність використаного для їх виготовлення матеріалу. У роботі досліджувалась поверхнева електропровідність композитів на основі різних марок графітів вітчизняного та іноземного виробництва.

Результати дослідження. За формою частинок графіти ПАТ Заваллівського комбінату (Україна) відносяться до лускатого типу (рис. 1).

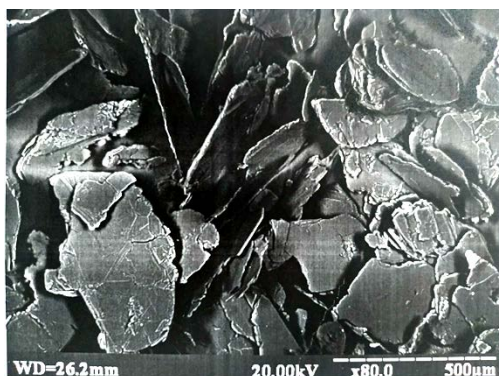


Рис. 1. Частинки крупнодисперсного заваллівського графіту

З промислових марок графітів цього комбінату для дослідження були відібрані зразки, що відрізняються між собою фізичними параметрами: ГСМ-1 – графіт спеціальний малозольний (для синтезу алмазів), ГАКи – графіти для виготовлення активних мас лужних акумуляторів, ГЛ-1 – графіт кристалічний ливарний, ЕУЗ-М – графіт для виготовлення електровуглецевих виробів, КГП С-1 – колоїдно-графітовий препарат. Дрібнодисперсні марки графітів (ЕУЗ-М, КГП) одержують шляхом механічного диспергування акумуляторних. До найчистіших відноситься графіт ГСМ-1, а максимальну зольність має графіт ГЛ-1. Призматичні грані кристалів частково окислені. Співвідношення кисневих груп –COOH, -OH, -O-O-, $-\text{C}=\text{O}$ 12:4:1:2 [3]. Графіт здатен адсорбувати водень, вуглецеві гази, метан, воду. Досліджені графіти відрізняються між собою розміром частинок та вмістом домішок (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика заваллівських графітів

Марка графіту	ГСМ-1	ГАК-2	ГАК-1	ГАК-00	ГЛ-1	ЕУЗ-М	КГП С-1
Характеристика							
Середній розмір частинок, мкм	280	260	132	128	123	28	8,5
Насипна густина, г/см ³	0,483	0,480	0,407	0,419	0,518	0,278	0,133
Зольність, %	0,1	0,5	0,5	0,5	13	0,5	0,7

Зі зменшенням розмірів частинок насипна густина графіту знижується. Оскільки полідисперсність частинок також впливає на щільність їхньої упаковки, для графітів із близьким середнім розміром частинок побудовано диференціальні криві розподілу за розмірами (рис. 2).

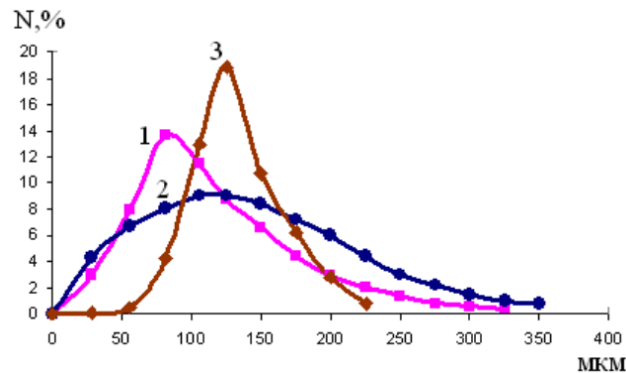


Рис. 2. Криві розподілу за розмірами частинок графітів з близькими значеннями їх середніх розмірів (1 – ГЛ-1; 2 – ГАК-00; 3 – ГАК-1)

Очевидно, що при виготовленні полімерних композитів методами пресування, екструзії або лакофарбовим методом зовнішні сили здатні ущільнювати порошки та призводити до орієнтації плоских частинок графіту. Під дією зовнішнього навантаження $0,5 \text{ кгс/см}^2$ пористість грубодисперсного графіту ГАК-1 зменшилася з $70,6\% \leftrightarrow$ до $72,5\%$, а графіту ЕУЗ-М з $85,4\%$ до $68,5\%$. При тиску $5,5 \text{ кгс/см}^2$ пористість ГАК-1 знизилася до $47,5\%$, а ЕУЗ-М лише до 68% .

За допомогою спеціальної комірки вимірювався опір графітових порошків при їхньому одноісному пресуванні. Типова залежність зміни електропровідності графіту під дією прикладеної сили наведена на рис. 3.

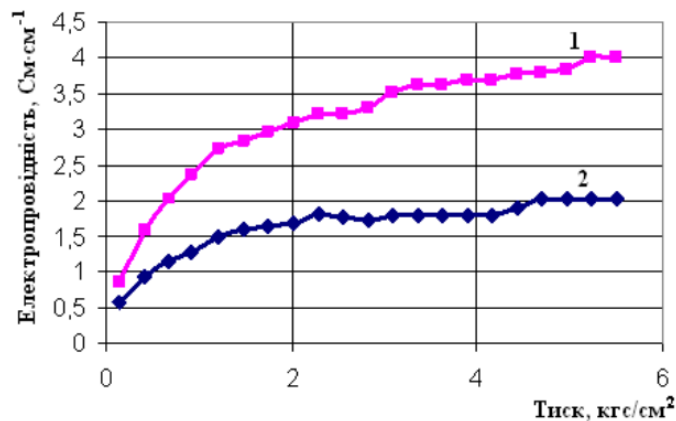


Рис. 3. Графік залежності електропровідності графіту ГАК-1 від тиску (1 – перпендикулярно дії сили; 2 – у напрямку дії сили)

Вже при мінімальному навантаженні ($0,15 \text{ кгс/см}^2$) фіксується різна електропровідність у двох взаємоперпендикулярних напрямках. З підвищенням тиску ця різниця збільшується і може досягати 1,5–2 рази. Найбільш швидко електропровідність підвищується зі збільшенням тиску до 1 кгс/см^2 . Після зняття навантаження релаксаційних процесів у зразку не зафіксовано. Ймовірно, що в цьому інтервалі тиску відбувається ущільнення зразка за рахунок переміщення та орієнтації частинок графіту. При подальшому підвищенні тиску поруч із пластичною деформацією починає проявлятися пружна, свідченням якої може бути різке підвищення

електричного опору (до $\sim 10\%$) після зняття навантаження. При тисках більше 5 кгс/см^2 електропровідність майже не змінюється. Різна електропровідність у двох взаємоперпендикулярних напрямках, очевидно, пов'язана з орієнтацією плоских частинок графіту. Електропровідність серії досліджених графітів при тиску $5,5 \text{ кгс/см}^2$ наведена у таблиці 2.

Таблиця 2

Електропровідність досліджуваних графітів при навантаженні $5,5 \text{ кгс/см}^2$

Марка графіту	ГСМ-1	ГAK-1	ГAK-00	ГЛ-1	ЕУЗ-М
Характеристика					
Електропровідність, См/см вздовж дії сили	2,273	2,036	2,188	1,945	2,216
Електропровідність, См/см перпендикулярно дії сили	4,276	4,028	3,840	3,552	3,750

Виходячи з таблиць 1 та 2 можна зробити висновок про те, що електропровідність порошків графіту в напрямку перпендикулярному дії прикладеної сили підвищується зі збільшенням розмірів частинок. Полідисперсність частинок знижує електропровідність порошків. Не дивлячись на високу зольність (13%), грубодисперсний графіт ГЛ-1 має достатньо високу електропровідність.

Безумовно, що використання діелектричного полімерного зв'язувального значно знижує електропровідність графітових порошків. Від природи зв'язувального залежить характер взаємодії макромолекул з вуглецевими частинками. Визначені пороги перколяції графітів з різним розміром частинок з використанням як зв'язувального полівінілбутиралу: КГП С-1 – 32 мас.%; ЕУЗ-М – 38 мас.%; ГAK-1 – 51 мас.%. Зі збільшенням розмірів частинок поріг перколяції суттєво зміщується в бік більших концентрацій графіту. В експериментах за базовий був вибраний склад композита, який вже знайшов практичне застосування [9]: графіт КГП С-1 – 60%; технічний вуглець РВ – 20%; 10% спиртовий розчин полівінілбутиралу – 20% (по сухому залишку).

За наведеним співвідношенням компонентів виготовлені та досліджені зразки покриттів з різними графітами (табл. 3).

Таблиця 3

Властивості покриттів на основі заваллівських графітів

Марка графіту	ГAK-2	ГAK-1	ЕУЗ-М	КГП-С1
Характеристика				
Електропровідність, См/см	2,0	1,67	0,53	0,26
Густина, г/см^3	0,516	0,541	0,680	0,714

Як і очікувалось, електропровідність покриттів на основі заваллівських графітів зростає зі збільшенням розмірів графітових частинок.

Привертає увагу той факт, що густина композитів збільшується з підвищенням дисперсності графітів, але вона значно менша густини їх компонентів. Про наявність у покриттях поверхневих тріщин та внутрішніх порожнин свідчать результати мікроскопічних досліджень (рис. 4) та деяка різниця електропровідностей на різних ділянках поверхні покриттів. Вірогідно, що на утворення таких дефектів впливає недостатня щільність упаковки частинок і надто великий об'єм спирту в полімерному розчині (90 мас.%).

Спроба ущільнення композиту за рахунок часткового заміщення графіту ГAK-1 на дрібнодисперсні марки лише трохи підвищує щільність, але істотно знижує електропровідність композиту (табл. 4).

Ймовірно, що дрібнодисперсна добавка частково заповнює пустоти між частинками графіту ГАК-1, але зменшує його вклад в електропровідність композиту і збільшує кількість прошарків полімеру між частинками.

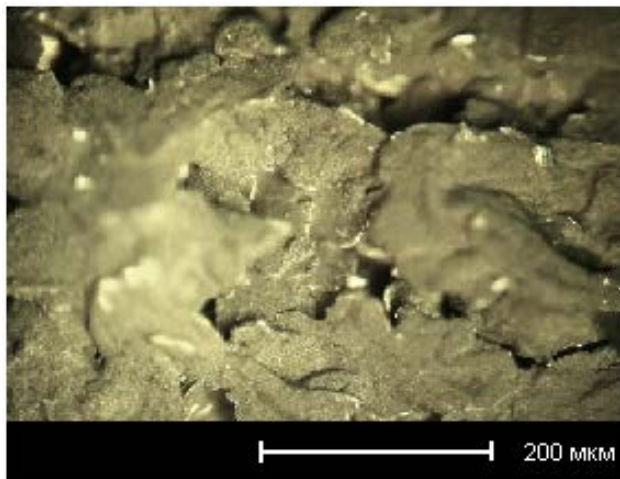


Рис. 4. Мікрофотографія поверхні композитів на основі завалівських графітів ГАК-1

Таблиця 4

Властивості покриттів на основі сумішей графітів

Вміст графітів, %	ГАК-1, 60	ГАК-1, 55 ЕУЗ-М, 5	ГАК-1, 55 КГП С-1, 5	ГАК-1, 55 АВГ*, 5	ГАК-1, 50 АВГ, 10	ГАК-1, 50 ЕУЗ-М, 5 АВГ, 15
Характеристика						
Густина, г/см ³	0,541	0,550	0,563	0,580	0,551	0,560
Електропровідність, См·см ⁻¹	1,67	0,55	0,57	1,56	1,47	0,7

*АВГ-1005 – графіт фірми Superior Graphite Co з середнім розміром частинок 9,8 мкм.

Часткова заміна графіту на теоретично високопровідні наноматеріали ще в більшій мірі негативно відобразилась на електропровідності покриттів і призвела до значного зниження їх густини (табл. 5).

Таблиця 5

Властивості покриттів з частковою заміною графіту ГАК-1 на нановуглецеві матеріали

Вміст наноматеріалу, %	Базовий склад	Вуглецеві нанотрубки Baytubes С150Р, 10	Графен Sinocarbon G100-Н, 2,22	Графен G250-Н, 2,22	Графен сGnp-C-750, 10
Електропровідність, См/см	1,67	0,20	0,41	0,3	0,28
Густина, г/см ³	0,541	0,263	0,398	0,372	0,411

Безумовно, що на властивості композиту впливає зольність, ступінь окислення, розмір вуглецевих наночастинок (відомо, що навіть метали з розміром частинок менше ніж 50 нм відносяться до напівпровідників). Але отримані результати, на наш погляд, в значній мірі пов'язані з насипною густиною цих компонентів (табл. 6).

Таблиця 6

Насипна густина досліджених нановуглецевих матеріалів

Нановуглецевий матеріал	Вуглецеві нанотрубки C150P	Графен Sinocarbon G100-Н	Графен G250-Н	Графен cGnp-C-750
Насипна густина, г/см ³	0,087	0,00241	0,00376	0,204

Навіть незначна добавка у вихідний композит такої високодисперсної речовини суттєво збільшує його в'язкість. Для одержання робочої в'язкості у композит додають значний об'єм розчинника, що призводить до зниження густини покриття.

Спроба заповнити хоча б поверхневі пустоти та тріщини розбавленою суспензією високодисперсних вуглецевих матеріалів навіть з використанням вакууму виявилася безрезультатною. Розбавлені розчини композитів на основі дрібнодисперсних графітів (КГП С-1, АВГ-1005) утворюють на поверхні дефектного покриття суцільну плівку, яка закупорює пустоти, а суспензії технічного вуглецю і графенів після висихання розтріскуються.

Наявність гідроксильних груп в молекулах полівінілбутиралу та спирту подавало надію, що доданий в композит аеросил в деякій мірі проявить свої тиксотропні властивості, таким чином зможе сприяти утворенню об'ємної електропровідної системи з вуглецевих частинок. Проте ефект від використання аеросилу виявився незначним і лише при концентраціях 0,5–1,0% (електропровідність збільшилася на 9–7%).

Зменшенню розмірів пустот в композиті, на наш погляд, може сприяти попереднє розщеплення частинок графіту вздовж базисних площин. До того ж розщеплені частинки краще орієнтуються під дією аплікатора. Найпростіший спосіб такого розщеплення – використання фарботерки, яка у випадку графіту використовує «ефект олівця». До того ж фарботерка виключає наявність у вихідному композиті випадкових великих трьохвимірних частинок, які можуть призводити до формування дефектів на покриттях. Дійсно, пропускання графіту ГАК-1 через зазор 50 мкм сприяло підвищенню електропровідності покриття на 43%, а пропускання через зазор 25 мкм – на 56%.

Значно більш трудомістким, але перспективним є розшаровування великих частинок графіту за допомогою ультразвуку, який до того ж сприяє десорбції адсорбованих з поверхні частинок речовин. Проте, слід мати на увазі, що під дією ультразвуку може виникати і руйнування графенових шарів. На практиці застосування ультразвуку сприяє одержанню позитивних результатів. Композит з графітом ГАК-1, попередньо обробленим ультразвуком, мав електропровідність на 37% вищу в порівнянні з вихідним графітом.

Відомо, що бездефектні покриття отримують шляхом нанесення тонких шарів композиту. В експерименті зазор аплікатора був зменшений в 3 рази. Електропровідність першого шару виявилася досить низькою (0,029 См/см), що вірогідно пов'язано і з суттєвою неоднорідністю шару по товщині. Нанесення другого шару привело до згладжування поверхневого рельєфу покриття і підвищення електропровідності до 0,714 См/см. Цей показник у 3-х шарових покриттях досяг 2,778 См/см, що на 46% більше у порівнянні з покриттям, сформованим за стандартною технологією.

Виходячи з того, що вуглецеві компоненти мають різну електропровідність і їх розмір впливає на щільність упаковки в композиті, були виготовлені та досліджені зразки з різними співвідношеннями вуглецевих компонентів (табл. 7).

Зменшення технічного вуглецю у базовому зразку на 5%, ймовірно, сприяло підвищенню ефективності графіту і призвело до зменшення контактної опору між його частинками. Така зміна концентрацій практично не відбилася на адгезійних властивостях покриття, які були оцінені стандартним методом (ASTMD 3359-02).

Таблиця 7

Залежність електропровідності композиту від співвідношення графіту та технічного вуглецю

Склад, %	ГAK-1, 60 PB, 20 ПВБ, 20	ГAK-1, 50 PB, 25 ПВБ, 25	ГAK-1, 40 PB, 30 ПВБ, 30	ГAK-1, 70 PB, 15 ПВБ, 15	КГП-С1, 60 PB, 20 ПВБ, 20	КГП-С1, 70 PB, 15 ПВБ, 15
Електро- провідність, См/см	1,67	1,43	0,71	2,5	0,31	0,48

При вивченні властивостей малозольних графітів іноземних фірм виявилось, що пряма залежність поверхневої електропровідності композитів від розміру частинок не завжди зберігається. Так, композити на основі графіту АВG-1005 (середній розмір частинок 9,8 мкм) мають більш високу електропровідність (~2,5 рази) у порівнянні з композитами на основі графіту ЕУЗ-М (розмір частинок 28 мкм). Водночас графіт SLA-1025 з розміром частинок 16,8 мкм більш ніж у 3 рази поступається дрібнодисперсному графіту КГП С-1, середній розмір частинок якого 9,5 мкм. Особливістю графіту SLA-1025 є заокруглена форма частинок. Ймовірно, що в процесі надання такої форми було деформовано призматичні грані кристалів. Відомо, що деформація графенових шарів підвищує їхню активність по відношенню до кисню та адсорбції низькомолекулярних речовин, що призводить до зниження електропровідності графітового матеріалу. Графіт АВG-1005 одержують шляхом неповного диспергування терморозширеного графіту. Його частинки є комплексами з'єднаних між собою хімічними зв'язками графенових шарів. Електропровідність композиту на основі цього графіту (0,385 См/см) перевищує цей показник базового зразка (0,262 См/см). Високу електропровідність мають композити на основі вихідних терморозширених графітів, одержаних методом екструзії [10].

На жаль, використовувати в лакофарбовій технології безпосередньо вихідний терморозширений графіт, виявилось практично не можливо через його агломерацію вже при приготуванні композиту.

Висновки. Зі збільшенням розмірів частинок лускатого графіту поверхнева електропровідність полімерних композитів збільшується. Будь-яка за природою дрібнодисперсна добавка до нього знижує електропровідність покриття. Полідисперсність частинок графіту негативно впливає на електропровідність композитів. Розшарування частинок грубодисперсного графіту за допомогою фарботерки чи ультразвуку сприяє підвищенню електропровідності композиту. Електропровідність покриттів з крупнодисперсними графітами з великою зольністю (ГЛ-1 – 13%, ГТ-1 – 7%) перевершує цей параметр покриттів на основі малозольного (0,7%) дрібнодисперсного графіту КГП С-1. Поруватість покриття залежить від розмірів частинок графіту і об'єму розчинника полімерного зв'язувального у вихідній суміші компонентів. Поруватість зменшується, а електропровідність зростає при одержанні покриття методом нанесення тонких шарів композиту. Об'єм розчинника у вихідному композиті можливо зменшити за рахунок оптимізації складу його компонентів і використання полімеру з меншою молекулярною масою.

Результати проведених досліджень дають можливість припустити, що подальшому підвищенню електропровідності полімерних композитів можуть сприяти: диспергування ультразвуком до певних розмірів частинок «вспучені» термоударом графіти; попередня термічна очистка графітів у вакуумі (чи в середовищі інертного газу) вихідних вуглецевих компонентів.

Подяка. Автори вдячні МОН України (держбюджетна тема 16.04.74 ДБ) та програмі НАТО «Наука заради миру» за фінансову підтримку досліджень в рамках проєкту SpS G5477.

References

1. Nahirna N.I., Mandziuk V.I. (2014). Elektrokhimichna interkaliatsiia yoniv litiiu v nanoporystyi vuhletsevyi material [Electrochemical intercalation of lithium ions in nanoporous carbon material.] Visnyk Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni Vasylia Stefanyka Serii : Khimii = Bulletin of Vasyl Stefanyk Prykarpattia National University. Series: Chemistry, 18: 69-81 [in Ukrainian].
2. Gang Wang, Minghao Yu and Xinliang Feng. (2021). Carbon materials for ion-intercalation involved rechargeable battery technologies. Chem. Soc. Rev. 50: 2388-2443
3. Bannyi V.A., Yhnatenko V.A., Azerenok A.S., Evtukhova L.A. (2018). Sovremennye materiali i sposobi zashchiti biologicheskikh obektov ot vozdeistviya elektromagnitnykh polei i izlucheni [Modern materials and methods for protecting biological objects from the effects of electromagnetic fields and radiation] Problemi zdorovya i ekologii = Problems of health and ecology, 2: 4-10 [in Russian].
4. Sarika Singh and Neeru Kapoor. (2014). Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs. Hindawi Publishing Corporation Advances in Biology, 24 pages.
5. Sumana Bhattacharjee. (2014). Protective Measures to Minimize the Electromagnetic Radiation. Advance in Electronic and Electric Engineering. 4(4): 375-380
6. Chernish I.G., Karpov I.I., Prikhodko G.P., Shai V.M. (1990). Fiziko-khimicheskie svoistva grafita i yego soedinenii [Physical and chemical properties of graphite and its compounds] Kiev: Nauk. Dumka = Kyiv: Nauk. opinion, 200 [in Russian].
7. Martin Cermak, Nicolas Perez, Michael Collins & Majid Bahrami. (2020). Material properties and structure of natural graphite sheet. Scientific Reports, 10: 18672.
8. Bibyk V.V., Hrychanovska T.M., Odnodvoret L.V., Shumakova N.I. (2010). Fyzyka tverdoho tila [Solid state physics]: navch. posib. Sumy: Vyd-vo SumDU = education manual Sumy: Publication of Sumy State University, 200 [in Ukrainian].
9. Barsukov V.Z., Senyk I.V., Khomenko V.H. Kompozytsiia dlia formuvannia kompozytsiinoho materialu dlia zakhystu vid elektromahnitnoho vuprominiuvannia ta sposib oderzhannia kompozytsiinoho materialu na substrati: pat. [A composition for forming a composite material for protection against electromagnetic radiation and a method of obtaining a composite material on a substrate: patent] UA117949C2; Biul.№20. opubl. 25.10.2018 [in Ukrainian].

Література

1. Нагірна Н.І., Мандзюк В.І. Електрохімічна інтеркаляція йонів літію в нанопористий вуглецевий матеріал. Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Серія : Хімія. 2014. Вип. 18. С. 69-81.
2. Gang Wang, Minghao Yu and Xinliang Feng. Carbon materials for ion-intercalation involved rechargeable battery technologies. Chem. Soc. Rev., 2021, 50, 2388-2443
3. Банний В.А., Игнатенко В.А., Азеренок А.С., Евтухова Л.А. Современные материалы и способы защиты биологических объектов от воздействия электромагнитных полей и излучений. Проблемы здоровья и экологии, 2018, Т.2, С.4-10.
4. Sarika Singh and Neeru Kapoor. Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs. Hindawi Publishing Corporation Advances in Biology, Volume 2014, 24 pages
5. Sumana Bhattacharjee. Protective Measures to Minimize the Electromagnetic Radiation. Advance in Electronic and Electric Engineering. V. 4, No. 4, 2014, p. 375-380
6. Черныш И.Г., Карпов И.И., Приходько Г.П., Шай В.М. Физико-химические свойства графита и его соединений. Киев: Наук. думка, 1990. 200 с.
7. Martin Cermak, Nicolas Perez, Michael Collins & Majid Bahrami. Material properties and structure of natural graphite sheet. Scientific Reports, 2020, 10, 18672.
8. Бібик В.В., Гричановська Т.М., Однодворець Л.В., Шумакова Н.І. Фізика твердого тіла: навч. посіб. Суми: Вид-во СумДУ, 2010. 200 с.
9. Барсуков В.З., Сенік І.В., Хоменко В.Г. Композиція для формування композиційного матеріалу для захисту від електромагнітного випромінювання та способ одержання композиційного матеріалу на субстраті: пат. UA117949C2; Бюл.№20. опубл. 25.10.2018.
10. Вовченко Л.Л. Вплив структурно-морфологічного стану нановуглецевого компонента на теплові та електрофізичні властивості вуглецевих композитів. Київ, дисертація... 2015, 376 с.

10. Vovchenko L.L. (2015). Vplyv strukturno-morfologichnoho stanu nanovuhletsevoho komponenta na teplovi ta elektrofizychni vlastyvoli vuhletsevykh kompozytiv [The influence of the structural and morphological state of the nanocarbon component on the thermal and electrophysical properties of carbon composites], Kyiv, dysertatsiia, 376 [in Ukrainian].

BUTENKO OKSANA

PhD, Associate Professor,
Department of Electrochemical Power Engineering and
Chemistry, Kyiv National University of Technologies and
Design, Ukraine

<http://orcid.org/0000-0002-4513-3355>

Scopus Author ID: 57207988484

ResearcherID: AAH-4024-2019

E-mail: butenko.oo@knuud.com.ua

KUBAI YULIYA

Student of the Department of Electrochemical Power
Engineering and Chemistry, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine

E-mail: kruglichok.ulichka@gmail.com

BARSUKOV VIACHESLAV

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of
Department of Electrochemical Power Engineering
and Chemistry, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine

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

Scopus Author ID: 8590938100

ResearcherID: O-6308-2017

E-mail: barsukov.vz@knuud.com.ua

CHERNYSH OKSANA

Candidate of Engineering Sciences, Senior Research
Officer, Department of Electrochemical Power
Engineering and Chemistry, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine

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

Scopus Author ID: 57210980450

E-mail: chernish.ov@knuud.edu.ua

KHOMENKO VOLODYMYR

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Department of Electrochemical Power Engineering
and Chemistry, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine

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

Scopus Author ID: 7004402598

ResearcherID: X-2214-2018

E-mail: y.khomenko@i.ua

KURYPTIA YAROSLAV

Candidate of Engineering Sciences, Senior Research
Officer, Department of Electrochemical
Power Engineering and Chemistry, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6181-644X>

Scopus Author ID: 57192820834

ResearcherID: AAJ-7175-2021

E-mail: yarik_lg@ukr.net

**BUTENKO O. O., CHERNYSH O. V., KUBAY Yu. O.,
KHOMENKO V. G., BARSUKOV V. Z., KURYPTIA Ya. A.**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**APPLICATION OF GRAPHITES IN ELECTRICALLY
CONDUCTIVE POLYMER COMPOSITES**

Purpose: Study of the influence of the physical properties of natural graphites on the electrical conductivity of polymer coatings.

Methodology: The geometrical parameters of particles of different-dispersed graphites were studied by optical and electron microscopy. The change in the spatial electrical conductivity of graphite powders under the action of an external load was determined using a specially made cell. Taking into account the anisotropic physical properties of graphite crystals, dispersed carbon black was added to the polymer binder during the manufacture of composites. Dispersion was carried out using ultrasound in an alcohol medium. A 10% solution of polyvinyl butyral in ethanol was used as a binder for dispersed components. The thickness of the composite on a solid surface was set using an applicator. The surface electrical conductivity was recorded by the four-electrode method.

Findings: The dependence of the surface electrical conductivity of polymer composites on the size, shape and polydispersity of graphite particles was studied. When obtaining polymer coatings based on graphite by the paint and varnish method, a significant orientation of two-dimensional mineral particles occurs, which has a significant effect on the spatial electrical conductivity of the composite. The factor limiting the electrical conductivity of polymer coatings based on coarse graphite is micropores and small cracks due to low compaction of such particles and a large volume of ethanol in a 10% polymer binder solution. Ultrasound under certain conditions leads to delamination of graphite particles, which contributes to an increase in the electrical conductivity of composite coatings.

Scientific novelty: It has been established that with an increase in the size and a decrease in the polydispersity of particles of flake graphite, the surface electrical conductivity of the polymer coating increases. Adding a composite of dispersed carbon or inorganic additives reduces this electrical conductivity.

Practical value: The increase in the surface electrical conductivity of polymer composites in shielding devices contributes to the effectiveness of protecting humans and electronics from the negative effects of electromagnetic radiation.

Keywords: graphite; composite; electrical conductivity; slice; dispersion; polymer binder; carbon black.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.8>

УДК 621.35:
547.22:541.13:
541.8:541.127

¹ЄФІМОВА І. В., ¹СМИРНОВА О. В., ^{1,2}БЕССАРАБОВ В. І.

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

²Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ОКИСНЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СУБСТРАТІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ У ПРИСУТНОСТІ ГУМІНОВИХ ТА ГЕМАТОМЕЛАНОВИХ КИСЛОТ

Мета. Дослідження реакційної здатності гумінових речовин у процесах радикально-ланцюгового окиснення декількох різних за природою органічних субстратів в апротонному середовищі.

Методика. Газоволомометричним методом було досліджено ініційоване азодіізобутіронітрілом окиснення кумолу, етилбензолу та аскорбінової кислоти в присутності гумінових та гематомеланових кислот в апротонному середовищі.

Результати. Вивчено ініційоване рідиннофазне окиснення кумолу, етилбензолу та аскорбінової кислоти киснем у присутності гумінових і гематомеланових кислот із бурого вугілля. Показано, що додавання гумінових речовин до досліджуваної системи з кумолом та етилбензолом викликає гальмування процесу окиснення даних модельних субстратів, причому ефект, що спостерігається, посилюється зі збільшенням концентрації гумінових речовин. В той же час, додавання гумінових речовин до досліджуваної системи з аскорбіновою кислотою викликає прискорення процесу окиснення субстрату, яке посилюється зі збільшенням концентрації гумінових речовин.

Наукова новизна. Вперше доведена вибіркова антиоксидантна або прооксидантна активність гумінових та гематомеланових кислот в процесах радикально-ланцюгового окиснення в залежності від природи окислювального субстрату.

Практична значимість. Проведені дослідження доводять, що гумінові речовини виявляють вибірккові властивості, які уповільнюють або прискорюють процеси радикально-ланцюгового окиснення залежно від природи субстрату, що окиснюється. Здатність гумінової та гематомеланової кислот до антиоксидантної та прооксидантної активності може бути перспективною для створення комплексних препаратів цілеспрямованої дії з регульованими окислювально-відновними властивостями.

Ключові слова: гумінові кислоти; гематомеланові кислоти; радикально-ланцюгове окиснення; антиоксиданти; прооксиданти; активні фармацевтичні інгредієнти.

Вступ. Гумінові речовини є основними складовими природних органічних речовин, які зустрічаються як у водному, так і в наземному середовищах. Гумінові речовини – це складна, дисперсна і неоднорідна суміш різноманітних органічних сполук, синтезованих із залишків органічної речовини. Більшість вчених вказує на те, що гумінові речовини є супрамолекулярною асоціацією невеликих неоднорідних молекул, стабілізованих слабкими міжмолекулярними зв'язками. Водночас гумінові речовини є однією з найбільш хімічно активних частин бурого вугілля, торфу, ґрунтового гумусу, сланців та донних відкладень (сапропелів), що робить їх унікальними об'єктами для вирішення хімічних завдань різного плану [1]. Утворення гумінових речовин є другим за масштабністю після фотосинтезу процесом трансформації органічної речовини в природі, при цьому гумінові речовини є найбільш стійкою формою органічних сполук вуглецю поза живими організмами [2]. В даний час гумінові речовини визнані одним з перспективних напрямів «зеленої» хімії як доступне та дешеве джерело сировини для отримання хімічно важливих продуктів [3]. Висока біологічна активність гумінових речовин пов'язана з їх вираженою спорідненістю з біологічними мембранами, участю в іонному транспорті, впливом на активність ферментів та ін [4, 5]. Унікальність хімічних властивостей гумінових речовин дозволяє застосовувати їх у різних

галузях народного господарства, у тому числі й у медичній практиці. У природі немає сполук з ідентичним набором таких самих важливих хімічних і біологічних властивостей, якими володіють гумінові сполуки. Дослідження в галузі розробок нових біологічно активних речовин показали [4, 5], що саме гумінові речовини різного генезу мають імуномодулюючу та протизапальну дію, яка дозволяє використовувати їх для профілактики та лікування хронічних захворювань, що супроводжуються запальними та алергічними реакціями. Перспективним є застосування гумінових речовин як противірусних засобів. Природне походження гумінових речовин є вагомою перевагою перед штучно синтезованими препаратами, оскільки клінічно вони практично не мають небажаних ефектів у порівнянні з традиційними аналогами.

У торфі і бурому вугіллі гуміновими речовинами представлена переважна частина їх органічної маси: в торфі до 60%, в бурому вугіллі до 20–60%, в ґрунтах – до 20%. За хімічною природою гумінові речовини з різних природних джерел є поліоксіполікарбонові кислоти з елементним складом: 50–60% С, 46% Н, 25–40% О.

Однією із складових гумінових речовин є гумінові кислоти (ГК) – фракція, розчинна в лугах і нерозчинна в кислотах, гематомеланові кислоти (ГМК), у свою чергу, є спирторозчинною фракцією гумінових кислот. Гумінові та гематомеланові кислоти – це природні сполуки, які є складною сумішшю органічних речовин з конденсованими ароматичними ядрами, що мають бічні ланцюги різного ступеня розгалуження (рис. 1). До складу макромолекул цих сполук входять різні гідрофільні функціональні групи: карбоксильні, гідроксильні, хіноїдні, аміногрупи [6–8]. Наявність цих функціональних груп у структурі макромолекул обумовлює біологічну активність гумінових кислот і передбачає їх здатність до антиоксидантної або прооксидантної дії. Проте детальних досліджень цих властивостей гумінових речовин у літературі немає.

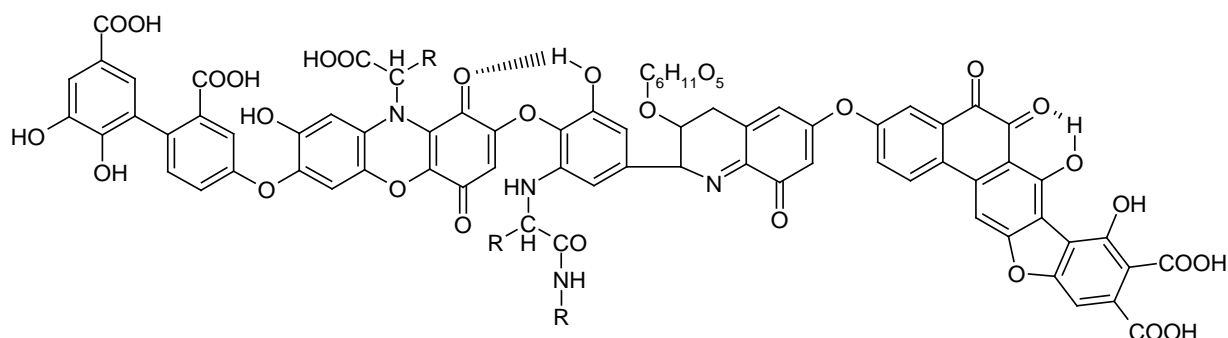


Рис. 1. Схема будови периферичної частини макромолекули гумінової кислоти по Stevenson F.J.

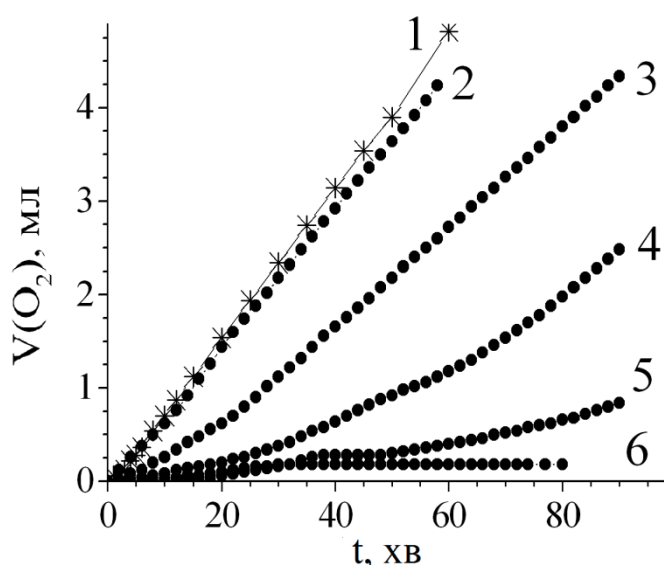
Постановка завдання. Метою даної роботи було вивчення реакційної здатності гумінових речовин у процесах радикально-ланцюгового окиснення декількох різних за природою органічних субстратів в апротонному середовищі. Тобто, дослідити ініційоване рідиннофазне окиснення кумолу (ІПБ), етилбензолу (ЕБ) та аскорбінової кислоти (АК) у присутності ГК та ГМК кислот, взятих у широкому діапазоні концентрацій і, таким чином, встановити можливості використання гумінових кислот для регулювання антиоксидантних та прооксидантних властивостей цих супрамолекулярних систем.

Матеріали і методи дослідження. В рамках поставленої задачі газоволюмометричним методом було досліджено ініційоване азодіізобутіронітрілом (АІБН) окиснення ІПБ, ЕБ та АК в присутності ГК та ГМК у середовищі диметилсульфоксиду (ДМСО). За кінетикою процесу окиснення стежили газоволюмометрично, вимірюючи кількість поглиненого кисню при постійній температурі 348 К і постійному парціальному тиску кисню 760 мм. рт. ст. на установці, описаній в [9]. Вивчення процесу проводили в кінетичній області, де швидкість

реакції не залежить від швидкості перемішування. Швидкість поглинання кисню окиснювальною сумішшю розраховували як тангенс кута нахилу кінетичної кривої, отриманої побудовою залежності кількості поглиненого кисню (V , мл) від часу (t , с). В роботі використовували АІБН, ДМСО, ІПБ, ЕБ, хлорбензол, АК очищені за методиками, описаними в [10]. Концентрація ІПБ та ЕБ в досліджуваній системі становила 3,59 моль/л, АІБН – $2,00 \cdot 10^{-2}$ моль/л, як це рекомендовано в класичних дослідженнях [9, 10].

Результати дослідження. В роботі досліджено вплив гумінових речовин на процеси радикально-ланцюгового окиснення декількох різних за природою органічних субстратів в апротонному середовищі, взятих у широкому діапазоні концентрацій.

Як видно з рис. 2, додавання ГК до окиснюваної суміші ІПБ – АІБН – ДМСО призводить до зниження швидкості поглинання кисню системою протягом усього часу експерименту (до 90 хв), причому зі збільшенням концентрації ГК з 0,0 г/л до 10,0 г/л в суміші швидкість окислення системи (за величиною швидкості поглинання кисню $W_{[O]}$) істотно зменшується з $2,76 \cdot 10^6$ до $0,08 \cdot 10^6$ моль/(л·с) відповідно. Аналогічний вплив ГК на швидкість поглинання кисню спостерігається і для системи, де субстратом, що окислюється, був ЕБ. Найбільш ефективною з точки зору зниження швидкості поглинання кисню системою є концентрація гумінових кислот 10,0 г/л: зі збільшенням концентрації ГК з 0,0 г/л до 10,0 г/л в суміші швидкість окислення системи (за величиною $W_{[O]}$) зменшується з $2,34 \cdot 10^6$ до $0,42 \cdot 10^6$ моль/(л·с) відповідно.



Позначки: 1 – без ГК; 2 – 0,1 г/л; 3 – 1,0 г/л; 4 – 2,0 г/л; 5 – 5,0 г/л; 6 – 10,0 г/л.

Рис. 2. Кінетичні криві поглинання кисню системою з ГК

Додавання ГМК до окислюваної суміші ІПБ – АІБН – ДМСО призводить також, як і у випадку з ГК (табл. 1), до зниження швидкості поглинання кисню системою, зі збільшенням концентрації ГМК у суміші швидкість окислення системи зменшується протягом усього часу експерименту до 90 хв. Аналогічний вплив ГМК на швидкість поглинання кисню спостерігається і для системи, де субстратом, що окиснюється, був ЕБ.

Результати експерименту свідчать про те, що ГК та ГМК є інгібіторами окиснення кумолу та етилбензолу. Встановлено, що ГК та ГМК більш ефективні інгібітори окиснення для системи з кумолом, ніж для системи з етилбензолом у діапазоні концентрацій гумінових речовин від 2 до 10 г/л (рис. 2, табл. 1).

Таблиця 1

Залежність величини швидкості поглинання кисню $W_{[O]}$ системами кумол (етилбензол) – ДМСО – АІБН від концентрації гумінових речовин.

Вміст гумінової речовини в системі, г/л	$W_{[O]} \cdot 10^6$, моль/(л·с)			
	ГК		ГМК	
	ПБ	ЕБ	ПБ	ЕБ
0	2,76	2,34	2,76	2,34
0,1	2,53	-	2,71	-
1,0	1,72	1,63	1,90	1,75
2,0	0,93	1,52	1,38	1,58
5,0	0,31	0,74	0,41	0,95
7,0	0,24	0,54	-	-
10,0	0,08	0,42	0,26	0,78

Для визначення характеру впливу ГК і ГМК на процес окиснення АК і коректного співставлення з кінетичними параметрами окиснення ПБ та ЕБ, було досліджено систему, в якій ці вуглеводні замінено на інертний до окиснення хлорбензол, при цьому зберіглося співвідношення реагентів та розчинника.

Як показано в табл. 2, додавання ГМК і ГК до окиснювальної суміші призводить до збільшення швидкості поглинання кисню в порівнянні з системою, в яку нічого не додавали.

Таблиця 2

Швидкість поглинання кисню $W_{[O]}$ системами з аскорбіною кислотою, кумолом та етилбензолом в присутності різних гумінових речовин

Гумінова речовина	$W_{[O]} \cdot 10^6$, моль/(л·с)		
	АК	ЕБ	ПБ
-	2,93	1,17	2,76
ГК	7,37	0,81	1,72
ГМК	4,95	0,93	1,90

[ГК] = [ГМК] = 1,00 г/л.

Таким чином показано, що ГК та ГМК в залежності від природи органічного субстрату, що окиснюється, можуть виступати у ролі як прооксидантів (субстрат аскорбінова кислота), так і антиоксидантів (субстрати етилбензол та кумол): швидкість поглинання кисню в присутності в системі, наприклад, гематомеланових кислот в концентрації 1,00 г/л, збільшується в 1,7 раза, і зменшується в 1,3 та 1,5 раза відповідно (табл. 2).

Висновки. Вивчено ініційоване рідиннофазне окиснення ПБ та ЕБ киснем у присутності ГК та ГМК із бурого вугілля. Показано, що додавання гумінових речовин до досліджуваної системи з кумолом та етилбензолом викликає гальмування процесу окиснення даних модельних субстратів, причому ефект, що спостерігається, посилюється зі збільшенням концентрації гумінових речовин. Встановлено, що ГК та ГМК більш ефективні інгібітори окиснення для системи з кумолом, ніж для системи з етилбензолом у діапазоні концентрацій гумінових речовин від 2 до 10 г/л. Найбільш ефективною з точки зору зниження швидкості поглинання кисню системою є концентрація гумінових кислот 5,0 г/л.

Досліджено ініційоване рідиннофазне окиснення АК киснем у присутності ГК та ГМК із бурого вугілля. Показано, що додавання гумінових речовин до досліджуваної системи викликає прискорення процесу окиснення даного модельного субстрату. Крім того, ефект, що спостерігається, посилюється зі збільшенням концентрації гумінових речовин. Це означає, що

гумінові речовини бурого вугілля є активаторами радикально-ланцюгового окиснення аскорбінової кислоти.

Вибіркова здатність гумінових та гематомеланових кислот з бурого вугілля до антиоксидантної та прооксидантної активності в залежності від природи органічного субстрату, який окиснюється киснем, повинна стати предметом подальших наукових розвідок та може бути використана для створення засобів цілеспрямованої дії з регульованими окислювально-відновними властивостями для хіміко-фармацевтичної галузі промисловості, зокрема при синтезі активних фармацевтичних інгредієнтів.

References

Література

1. Souza, F., Braganca, S. R. (2018). Extraction and characterization of humic acid from coal for the application as dispersant of ceramic powders. *Journal of Materials Research and Technology*, V. 7, N 3, P. 254–260.
1. Souza F., Braganca S. R. Extraction and characterization of humic acid from coal for the application as dispersant of ceramic powders. *Journal of Materials Research and Technology*. 2018. V. 7. N 3. P. 254–260.
2. Kanmaz, E. O. (2019). Humic acid formation during subcritical water extraction of food by-products using accelerated solvent extractor. *Food and Bioproducts Processing*, V. 115, P. 118–125.
2. Kanmaz E. O. Humic acid formation during subcritical water extraction of food by-products using accelerated solvent extractor. *Food and Bioproducts Processing*. 2019. V. 115. P. 118–125.
3. Jin, X., Zheng, M., Sarkar, B., Naidu, R., Chen, Z. (2016). Characterization of bentonite modified with humic acid for the removal of Cu (II) and 2,4-dichlorophenol from aqueous solution. *Applied Clay Science*, V. 134, P. 89–94.
3. Jin X., Zheng M., Sarkar B., Naidu R., Chen Z. Characterization of bentonite modified with humic acid for the removal of Cu (II) and 2,4-dichlorophenol from aqueous solution. *Applied Clay Science*. 2016. V. 134. P. 89–94.
4. Boguta, P., D’Orazio, V., Senesi, N., Sokolowska, Z., Szewczuk-Karpisz, K. (2019). Insight into the interaction mechanism of iron ions with soil humic acids. The effect of the pH and chemical properties of humic acids. *Journal of Environmental Management*, V. 245, P. 367–374.
4. Boguta P., D’Orazio V., Senesi N., Sokolowska Z., Szewczuk-Karpisz K. Insight into the interaction mechanism of iron ions with soil humic acids. The effect of the pH and chemical properties of humic acids. *Journal of Environmental Management*. 2019. V. 245. P. 367–374.
5. Saldaña-Robles, A., Saldaña-Robles, N., Saldaña-Robles, A. L., Damian-Ascencio, C., Rangel-Hernandez, V. H., Guerra-Sanchez, R. (2017). Arsenic removal from aqueous solutions and the impact of humic and fulvic acids. *Journal of Cleaner Production*, V. 159, P. 425–431.
5. Saldaña-Robles A., Saldaña-Robles N., Saldaña-Robles A. L., Damian-Ascencio C., Rangel-Hernandez V. H., Guerra-Sanchez R. Arsenic removal from aqueous solutions and the impact of humic and fulvic acids. *Journal of Cleaner Production*. 2017. V. 159. P. 425–431.
6. Klucakova, M. (2018). Conductometric study of the dissociation behavior of humic and fulvic acids. *Reactive and Functional Polymers*, V. 128, P. 24–28.
6. Klucakova M. Conductometric study of the dissociation behavior of humic and fulvic acids. *Reactive and Functional Polymers*. 2018. V. 128. P. 24–28.
7. Horst, C., Sharma, V. K., Baum, J. C., Sohn, M. (2013). Organic matter source discrimination by humic acid characterization: Synchronous scan fluorescence spectroscopy and Ferrate(VI). *Chemosphere*, V. 90, P. 2013–2019.
7. Horst C., Sharma V.K., Baum J.C., Sohn M. Organic matter source discrimination by humic acid characterization: Synchronous scan fluorescence spectroscopy and Ferrate(VI). *Chemosphere*. 2013. V. 90. P. 2013–2019.
8. Klucakova, M., Veznikova, K. (2017). Micro-organization of humic acids in aqueous solutions. *Journal of Molecular Structure*, Vol. 1144, P. 33–40.
8. Klucakova M., Veznikova K. Micro-organization of humic acids in aqueous solutions. *Journal of Molecular Structure*. 2017. Vol. 1144. P. 33–40.
9. Emanuel', N. M., Zaikov, G. Ye., Mayzus, Z. K. (1973). Rol' sredi v radikal'no-tsepnnykh reaktsiyakh hokisleni y aorganich eskikhsoyedeniy [The role of the medium in radical chain reactions of organic
9. Эмануэль Н. М., Заиков Г. Е., Майзус З. К. Роль среды в радикально-цепных реакциях окисления органических соединений. М.: Наука, 1973. 297 с.

compounds oxidation]. Moscow: Nauka. 297 p. [in Russian].

10. Armarego, W. L. F., Chai, Ch. L. L. (2003). Purification of Laboratory Chemicals. Elsevier Science. 608 p.

10. Armarego W. L. F., Chai Ch. L. L. Purification of Laboratory Chemicals. Elsevier Science, 2003. 608 p.

EFIMOVA IRYNA

Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Associate, Department of Coal Chemistry, L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Scopus Author ID: 7005360428
<http://orcid.org/0000-0002-4374-2990>
Researcher ID: AAG-9684-2019;
E-mail: I.V.Efimova@nas.gov.ua

SMIRNOVA OLGA

Junior Research Associate, Department of Chemistry of Heterocyclic Compounds, L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Scopus Author ID: 57190883897
<http://orcid.org/0000-0003-4143-7535>
E-mail: 79osmi@gmail.com

BESSARABOV VOLODIMIR

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Nucleophilic Reactions Research, L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
Scopus Author ID: 36917184700
Researcher ID: D-3425-2017
<http://orcid.org/0000-0003-0637-1729>
E-mail: v.bessarabov@kyivpharma.eu

¹EFIMOVA I. V., ¹SMIRNOVA O. V., ^{1,2}BESSARABOV V. I.

¹L.M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

OXIDATION OF ORGANIC SUBSTRATES OF DIFFERENT NATURES IN THE PRESENCE OF HUMIC AND HEMATOMELANIC ACIDS

Purpose. Establishment of the physicochemical regularities of the oxidation of various organic substrates in the presence of humic and hematomelanic acids from brown coal, as well as the identification of the possibility of regulating the antioxidant and prooxidant properties of these supramolecular inhibitory systems in the processes of radical chain oxidation.

Methodology. The oxidation of cumene, ethylbenzene and ascorbic acid initiated by azodiisobutyronitrile in the presence of humic and hematomelanoic acids in an aprotic medium was investigated by gas volumetric method.

Results. The initiated liquid-phase oxidation of cumene and ethylbenzene by oxygen in the presence of humic and hematomelanic acids from brown coal has been studied. It is shown that the addition of humic substances to the studied system causes inhibition of the oxidation process of these model substrates, and the observed effect increases with increasing concentration of humic substances. The initiated liquid-phase oxidation of ascorbic acid by oxygen in the presence of humic and hematomelanic acids from brown coal is studied. It is shown that the addition of humic substances to the studied system causes acceleration of the oxidation process of this model substrate, and the observed effect increases with increasing concentration of humic substances.

Scientific novelty. For the first time, the selective antioxidant or prooxidant activity of humic and hematomelanic acids in the processes of radical-chain oxidation, depending on the nature of the oxidizing substrate, was proven.

Practical significance. Studies show that humic substances exhibit selective properties that slow down or accelerate the processes of radical-chain oxidation depending on the nature of the oxidized substrate. The ability of humic and hymatomelanoic acids to antioxidant and prooxidant activity can be promising for the creation of complex drugs with targeted action with regulated redox properties. Since macromolecules of humic and hymatomelanic acids are nanosized natural formations, the development of antioxidants and prooxidants based on them is promising from the point of view of nanomedicine.

Keywords: humic acids; hematomelanic acids; radical chain oxidation; antioxidants; prooxidants active pharmaceutical ingredients.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.9>

УДК 615.454.1:
615.361

РОЇК О. М., НІКІТИНА О. О.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ГЕЛЮ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ РАН ТА ОПІКІВ З ШАВЛІЇ ЛІКАРСЬКОЇ ЕКСТРАКТОМ

Мета. Розробити оптимальний склад та технологію виробництва лікарського засобу на гелевій основі для лікування ран та опіків з шавлії лікарської екстрактом. Встановити фізико-хімічні та технологічні показники якості розробленого засобу.

Методика. У роботі застосовувалися теоретичні та емпіричні методи: вивчення літератури, присвяченої обраній тематиці; методи порівняльного аналізу, системний підхід, експериментальне дослідження з оцінки сумісності компонентів та вибору оптимального консерванту, статистичні методи збору та обробки інформації.

Результати. Проаналізовано український ринок лікарських препаратів для лікування ран та опіків і встановлено, що дана група ЛЗ представлена 105 препаратами різної форми випуску. В Україні, найбільшу частку займають препарати м'якої форми випуску, а розробка такої лікарської форми, яка б забезпечувала вимогам, що пред'являються до ідеального покриття, є актуальним напрямком сучасної технології ліків. однією з найперспективніших ЛФ для лікування ран та опіків є гелі, що являють собою м'які лікарські засоби (МЛЗ), які призначені для місцевого застосування. Обгрунтовано введення до складу препарату шавлії лікарської екстракту. За результатами проведених досліджень найбільш прийнятним консервантом у складі розробленого гелю обрано спирт фенілетиловий у концентрації 0,4%, що зумовлено проявом його високої антимікробної активності у даній фармацевтичній композиції, фізіологічною безпечністю, економічністю. Процес виготовлення розробленого гелю для лікування ран та опіків складається з 4 стадій, які детально описані в роботі.

Наукова новизна. На підставі проведених досліджень обгрунтовано оптимальний склад гелю від ран та опіків і розраховано такий його склад: Екстракт листя шавлії – 10%, лідокаїну гідрохлорид – 2%, Хлоргексидину диглюконат – 2%, карбомер Carborol® «Ultrez 21» – 1%; триметамол – до рН 6,0, пропіленгліколь – 5%, масло чайного дерева – 1,0 %, спирт фенілетиловий – 0,4% і вода очищена – до 100,0. Розроблено технологічну схему виробництва і проведено поетапний контроль якості розробленого гелю. За результатами мікробіологічних досліджень підтверджено доцільність та ефективність введення антимікробного консерванту спирту фенілетилового в концентрації 0,4%. На основі отриманих даних запропоновано умови зберігання ЛЗ у формі гелю від ран та опіків – при температурі 2–8 °С у тубах по 30,0 г у захищеному від світла місці, термін придатності – 2 роки.

Практична значимість. Розроблений склад ЛЗ у формі гелю для лікування ран та опіків може бути використаний для промислового виробництва та доповнити та розширити існуючий асортимент лікарських препаратів з даної проблематики.

Ключові слова: гелі; вивільнення компонентів; гелева основа; консервант; шавлії лікарської екстракт; лідокаїн; Карбомер Carborol; лікування опіків; активний допоміжний інгредієнт (АФІ); лікарський засіб (ЛЗ).

Вступ. Опік та рани є одними із найбільш поширених видів травм, які трапляються у побуті, на виробництві, а також під час воєнних дій та становлять 5% від усіх бойових поранень. При неправильному лікуванні ран та опіків можливе зараження опікової та ураженої поверхні і навіть поява гангрен. Тому проблема лікування опіків і ран, прискорення регенераційних процесів, а також запобігання вторинного інфікування рани не втратила своєї актуальності, незважаючи на існування різних підходів і методів для її вирішення [6].

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) повідомляє, що більшість летальних випадків, пов'язаних з опіковими травмами, зустрічаються в країнах Південно-Східної Азії. у Великобританії опіки отримують щорічно близько 25 тис людей, із яких лише 175 тис екстрено відвідують відділення швидкої допомоги та 16 тис з них допущені до лікарні для надання

спеціалізованої медичної допомоги, із яких 300 людей вмирають від опікової травми [4]. У США щороку отримують опікові травми близько 1250 тис, з яких лише 450 тис отримують медичне лікування. Близько 5500 людей помирає внаслідок отриманих опікових травм, а також щорічно реєструється близько 1000 летальних випадків від електричних опіків, рівень смертності від яких становить до 15%. В Україні щорічно реєструється 8 тис опечених, із яких 10% складають діти. Зокрема, в 2016 році зафіксовані найвищі показники смертності від опіків – 4,55 на 100 тис населення, а у 2017 році від опіків постраждало 7605 дітей. Обличчя та руки є найбільш поширеними ділянками опікової травми, часто зустрічаються ураження дихальних шляхів, а найменш поширеними є опіки очей.

Постановка завдання. Лікування опіків та ран – це цілий комплекс спеціальних заходів, спрямованих на збереження життя потерпілих і відновлення цілісності шкірних покривів. На сьогодні опіки лікують консервативно та оперативно, застосовуючи два методи місцевого лікування, а саме, відкритий та закритий. Також комплексно використовують симптоматичну терапію, знеболення, трансплантацію, у випадку важких станів – підтримують важливі функції, корегують водно-електролітний баланс, вводять парентеральне харчування, проводять детоксикаційну терапію.

Згідно з сучасними уявленнями патогенезу ранового процесу, препарат для I-ї фази повинен виявляти виразну протимікробну дію (широкий спектр активності до розповсюджених збудників ранової інфекції), протизапальну, виразну дегідратуючу (350–450%) та знеболюючу дії. При наявності некротичних тканин для очищення рани додатково потрібно застосовувати протеолітичні ферменти. При переході з I-ї на II фазу та у II-й фазі ранового процесу м'які лікарські форми лікарські препарати повинні поряд з протимікробною і протизапальною діями виявляти репаративну дію і меншу дегідратуючу дію, ніж на I-й фазі та помірну дегідратуючу дію для застосування на II-й фазі (100–200%), що сприяло б очищенню ран, не затримуючи процеси грануляції та епітелізації. На III-й фазі лікарські препарати повинні виявляти антисептичну і репаративну дії та захищати молоду грануляційну тканину від ушкоджень за рахунок маzewої основи з низькою осмотичною активністю (40–90%) [7]. Всі компоненти лікарського препарату повинні бути сумісні між собою в одній лікарській формі і зберігати фармакологічну активність при тривалих (не менше 2 років) термінах зберігання [3].

Такі лікарські форми, які традиційно застосовуються для лікування опікових ран (мазі, гелі, аерозолі) мають вагомні недоліки: неточність дозування лікарських речовин, мінливість збереження їх концентрації через розведення рановим ексудатом і нерівномірності контакту лікарських форм з пошкодженими тканинами.

Результати дослідження. До комбінованих препаратів, які призначені у I-й та I-II-й фазах відносяться: «Інфларакс», «Мірамістин-Дарниця», «Ацербін», «Левомеколь», «Левосин», «Нітацид», «Іруксол», «Офлокаїн-Дарниця», «Банеоцин», «Альгофін», «Ебермін», «Ілон». Для лікування II-й та III-й фазах серед комбінованих препаратів представлені: «Алантан-плюс», «Мефенат», «Рятівник», «Метилурацил з мірамістином», «Вундехіл», «Пантестин-Дарниця», «Стрептонітол-Дарниця» і мазь «Живокост». Серед них з 8-ми тільки 2 препарати (25%): «Метилурацил з мірамістином» і «Пантестин-Дарниця» мають відповідний спектр фармакологічної дії (протимікробну, протизапальну, репаративну та помірну дегідратуючу) [6].

Крім того, в даний час на фармацевтичному ринку існують антимікробні ранозагоювальні гелеві пов'язки та серветки «ОпiкУн»®, які застосовуються в якості перев'язувального засобу. Відома мазь для лікування опіків I і II ступеня і захворювань шкіри «Галодерм» на основі ланоліну (10–30%), що включає рослинне масло 10–50%, стабілізатор і агрегати протеогліканів хряща сільськогосподарських тварин в кількості від 0,01 до 2,0 мас.%. Відомо також застосування препарату «Актовегін» (Actovegin) виробництва Австрії при

лікуванні опіків. Активною речовиною є гомогенізований дериват телячої крові з низькомолекулярними пептидами і дериватами нуклеїнових кислот. Форма випуску: желе (гель) 20%, мазь 5%, розчин для ін'єкцій в ампулах. Суха вага активної речовини 40 мг в 1 мл розчину. При опіках і променевих ураженнях Актівегін-гель наносять на уражені ділянки шкіри тонким шаром. Зміну пов'язки виробляють 1 раз в тиждень, при сильній ексудації – кілька разів на добу.

Тому розробка такої лікарської форми, яка б відповідала вимогам, які пред'являються до ідеального покриття, є актуальним напрямком сучасної технології ліків [1]. Нові фармацевтичні форми для зовнішнього застосування для лікування ранового процесу, до складу яких входять лікарські речовини, які раніше застосовувалися у вигляді інших форм, можуть мати значні фармако-терапевтичні переваги. Однак необхідно відібрати оптимальний склад і технологію м'якої лікарської форми, яка б забезпечувала необхідний терапевтичний ефект, а також не викликала б подразнення, тобто повинна бути ізогідричною, ізотонічною до шкіри і слизових оболонок.

Крім того, в даний час ведеться пошук нових засобів, що володіють вираженою, а головне комплексною (протиопіковою, протизапальною) дією, що дозволяє найбільш повно усувати всі патологічні процеси і ускладнення, властиві для даного виду ураження. На наш погляд, однією з найперспективніших ЛФ для лікування ран та опіків є гелі, що являють собою м'які лікарські засоби (МЛЗ), які призначені для місцевого застосування. Дисперсійне середовище гелів має неньютонівський тип течії при вказаній температурі зберігання та високі значення реологічних характеристик [4]. Дана ЛФ містить одну або більше АФІ та ДР, та використовується для застосування на шкірі, її придатках, слизових оболонок. Саме тому ми обґрунтували складу та технології гелевої композиції для лікування ран та опіків з екстрактом листя шавлії з вираженими гідрофільно-ліпофільними властивостями [7]. Залежно від природи дисперсної фази гелі класифікують на: гірогелі – напівпрозорі гелі, які мають низьку адгезію із рановою поверхнею, швидко поглинають ексудат та токсини, забезпечують постійну вологість та температуру, сприяють транспортуванню молекул кисню у рану; алкогелі – гелі з спиртовим дисперсійним середовищем, а також бензогелі та ацетонові гелі.

Для фармацевтичного виробництва гелів використовують різноманітний асортимент основ як структуроутворювачів і допоміжних речовин для забезпечення оптимальних реологічних властивостей та стабільності у транспортуванні і зберіганні. Для вибору гелевої основи важливим чинником є дисперсність активного фармацевтичного інгредієнта та його фізико-хімічні властивості. Спосіб уведення АФІ в основу, час, швидкість і порядок змішування компонентів, температурний режим є також важливими чинниками, що у подальшому також зумовлюють параметри технологічного процесу, оскільки впливають на консистенцію, реологічні властивості, однорідність, стабільність під час зберігання і фармакотерапевтичну ефективність гелю.

При розробці гелевої продукції для лікування ран та опіків необхідно звернути увагу на ексципієнти, які можуть змінювати фізико-хімічні властивості ЛЗ. Найчастіше такими речовинами є антиоксиданти та антимікробні консерванти. Консерванти повинні забезпечувати мікробіологічну чистоту ЛФ протягом усього терміну їх застосування, тобто мати надійну антимікробну активність, повинні бути сумісними з АФІ та іншими ексципієнтами. Прикладом несумісності, наслідком якої є випадання осаду та зниження антимікробної дії, може бути сумісне використання в гелі карбомеру та бензалконію хлориду. На сьогодні асортимент антимікробних консервантів, які дозволені до застосування, є досить широким, проте при розробці МЛФ виробники надають перевагу парабенам (ніпагін, ніпазол), бензойній кислоті та її солям, сорбінової кислоті та її солям, спирту фенілетиловому. Найпоширенішими антиоксидантами, що використовують сучасні фармацевтичні виробники у МЛФ, є кислота аскорбінова та її солі, α -токоферол, динатрію едетат, бутилгідроксианізол

та бутилгідрокситолуол, натрію метабісульфіт. Додавання до гелю карбополу пропіленгліколю (до 60%) практично не змінює його структурну в'язкість, але підвищує осмотичну активність і ступінь вивільнення діючих речовин, що має певне практичне значення при використанні гелів для заживлення ран. Зміна рН гідрогелів карбополу призводить до різкої зміни структурної в'язкості.

Для надання гелям естетичного зовнішнього вигляду та аромату, до їх складу вводять барвники та ароматизатори, а до МЛЗ, які застосовують у стоматології додають підсолоджувачі смаку, зокрема, аспартам, цукрозу, сахарози кокоат, сахарин та його солі, цикламати.

На основі аналізу наукової літератури нами були вибрані гелеутворювачі, які найчастіше використовують при створенні ЛЗ м'якої форми випуску, а саме: карбомери Carbopol® «Ultrez 21» та 980, ксантанова камедь. Карбомер Carbopol® «Ultrez 21» характеризується швидким змочуванням та набуханням без необхідності перемішування, що забезпечує високу в'язкість і формує прозорі гелі та робить його надзвичайно простим та ефективним у промисловому виробництві.

Ранозагоювальні фітопрепарати за характером фармакологічної дії не поступаються, а в деяких випадках й перевищують існуючі традиційні засоби. Лікарські рослини в своєму складі містять комплекс біологічно активних сполук, співвідношення яких сприяє забезпеченню широкого спектру фармакологічної дії. Ці особливості ще більше затребуванні в лікуванні ран та опіків, яке потребує впливу на різні патологічні процеси. З метою комплексної дії нами запропоновано введення до складу гелю шавлії лікарської листа екстракт рідкий (*Salvia officinalis extract liquid leave*). Рослинна сировина – шавлії листя (*Salviae folia*) містять олію ефірну (0,5–2,5%), речовини дубильні конденсовані (4%), кислоти тритерпенові (урсолова і олеанолова), дитерпени, речовини смолисті (5–6%) і гіркі, флавоноїди, кумарин ескулетин, вітаміни: С, Е, К, групи В (фолієву кислоту В9, піридоксин В6, тіамін В1, рибофлавін В2, ніотинову кислоту В3), вітамін А і бета-каротин; мікро- та макроелементи: калій, цинк, кальцій, залізо, марганець, мідь і магній; смолисті та гіркі речовини.

На фармацевтичному ринку України представлена низька фітопрепаратів із шавлії лікарської листа, для цієї сировини зазначено, що її БАР ущільнюють епітеліальні тканини, знижують проникність клітинних мембран, зміцнюють стінки ушкоджених кровоносних судин, а також мають в'язучу, протизапальну й антисептичну дію [12].

Відомо, що фармакологічну дію шавлії обумовлюють речовини, що входять до складу ефірної олії, а саме моно- і сесквітерпени, складні ефіри, ароматичні сполуки. Водночас значну цінність мають фармакологічні властивості сполук дитерпенової та поліфенольної природи. Дитерпени шавлії представлені сполуками абієтанової структури і відносяться до похідних карнозолової кислоти. Вивчення протизапальної активності карнозолової кислоти виявило здатність її інгібувати високопродуктивну NO-синтазу активованих макрофагів. NO в свою чергу медіатор різноманітних функцій, що впливає на багато клітин організму через взаємодію з різними молекулярними мішенями, виконує біологічні функції, включаючи вазодилатацію, нейротрансмісію, тканинний гомеостаз, репарацію рани, усунення запалення та цитотоксичності [13]. Встановлено, що антиоксидантна активність карнозолової кислоти вища, ніж у таких стабілізаторів, як бутилгідроксіанізол (в 2–4 рази), поліфеноли чаю (приблизно в 2 рази), токоферолі та аскорбінова кислота [14, 15]. Дитерпенові сполуки шавлії лікарської, похідні ройлеанону – ацетоксиройлеанон і оксиройлеанон, є природними антибіотиками щодо грампозитивної патогенної мікрофлори у концентрації від 4 до 35 мкг/мл. На його основі запропоновані лікарські форми для зовнішнього та місцевого застосування - мазі (0,5 та 1%-на), спиртовий та масляний розчини (0,1 та 0,25%-ний). Препарати рекомендуються при захворюваннях шкіри та слизових оболонок, викликаних грампозитивними бактеріями та іншою чутливою до нього мікрофлорою: при гнійних

хірургічних (обробка мікротравм, абсцеси, флегмони, фурункули, інфіковані рани, трофічні виразки, піодермії та ін.), стоматологічних (гінгівіти, альбіолярна піоррея тощо), отоларингологічних (ангіни, фарингіти, ларингіти, риніти, отити та ін.) та гінекологічних (кольпіти, ерозії тощо) [15]. Серед поліфенольних сполук особлива фармакологічна дія притаманна похідному кофейної кислоти – розмариновій кислоті, що крім антибактеріальних і антиоксидантних властивостей має противірусну і фунгіцидну дію [16].

Тритерпеноїди шавлії лікарської представлені, здебільшого, урсоловою та олеаноловою кислотами які чинять антиоксидантну, протизапальну, гепато- протекторну, протипухлинну й антимікробну дію [17].

Масло чайного дерева (*Oleum Melaleucae Alternifoliae*) – безбарвна або світло-жовта рідина, що володіє специфічним запахом з відтінком камфори. Розчинний у етанолі, рослинних оліях, пропіленгліколі; погано розчинний у гліцерині; нерозчинний у воді. До складу олії чайного дерева входить більше 100 похідних терпенів. Найбільш ефективними антибактеріальними компонентами цієї олії є терпінен – 4-ол, α -пінен, ліналоол і α -терпінеол. Ліпофільні терпінеоли проникають через клітинну мембрану мікроорганізмів і надають токсичну дію на їх мембранну структуру і функціонування.

Лідокаїну гідрохлорид (*Lidocaine hydrochloride*). 2 – (Діетиламіно) – N – (2,6-диметилфеніл) ацетамід гідрохлорид моногідрат – кристалічний порошок білого або майже білого кольору. Дуже легко розчинний у воді, легко розчинний в етанолі (96 %). Антиаритмічний засіб класу I B, місцевий анестетик, похідне ацетаніліду. У МЛФ лідокаїну гідрохлорид міститься в концентраціях від 2% до 4%, відповідно, дозу даного АФІ у складі гелю було визначено в кількості 20 мг/г [11].

Хлоргексидину диглюконат (*Chlorhexidine bigluconate*). 1,1'-гексаметиленбіс [5-(хлорофеніл) бігуанід] диглюконат – безбарвна рідина. Антисептичний, дезинфікуючий засіб, який проявляє бактерицидну та / або бактеріостатичну дію на грампозитивні та грамнегативні мікроорганізми. При місцевому і зовнішньому застосуванні не абсорбується в системний кровотік і не проявляє системної дії. Дозу даного АФІ у складі гелю було визначено в кількості 20 мг/г.

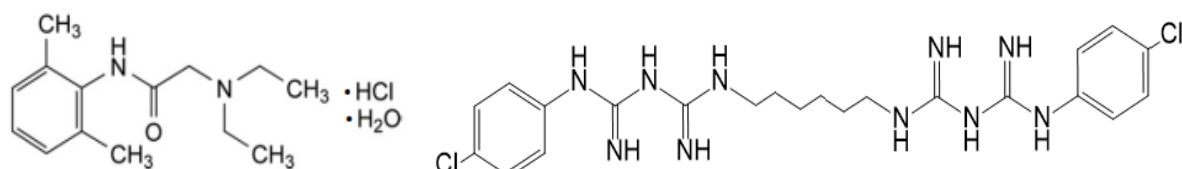


Рис. 1. Структурні формули лідокаїну та хлоргексидину

До складу всіх гелевих продуктів вводили пропіленгліколь або гліцерин у концентрації 5%, які є ефективними зволожуючими і вологоутримуючими речовинами, що допомагають підтримувати необхідний рівень зволоження та перешкоджають висиханню гелів, а також використовуються для пом'якшення шкіри.

Зразки гелевих продуктів від ран та опіків готують за загальними принципами технології МЛФ, із використанням необхідного лабораторного обладнання [8].

– гелі з карбомером 980 (зразки № 1 (0,2 %) та № 2 (0,5 %)) та карбомером Carbopol® «Ultrez 21» (зразки № 3 (0,5 %) та № 4 (1,0 %)): потрібну кількість гелеутворювача зважують, додають до води очищеної та залишають для повного набухання на 1 годину (візуальний контроль). Для досягнення рН 6,5–7,0 додають нейтралізатор – трометамол, при цьому отримують прозорі однорідні гелеві основи з необхідними споживчими характеристиками. До нейтралізованої основи додають екстракт з листя шавлії, масло чайного дерева 1,0%, лідокаїну гідрохлорид 2,0%, хлоргексидину диглюконат 2,0% та пропіленгліколь, перемішують до повної гомогенізації суміші.

– гель з ксантановою камеддю (зразок № 5 (1,0 %)): необхідну кількість ксантанової камеді заливають розрахованою кількістю води очищеної, залишають для набухання протягом 1–2 год при кімнатній температурі, періодично перемішують. Потім до однорідної основи додають екстракт з листя шавлії, масло чайного дерева 1,0%, лідокаїну гідрохлорид 2,0%, хлоргексидину диглюконат 2,0% та пропіленгліколь, перемішують до повної гомогенізації суміші.

Таблиця 1

Склади гелів з лідокаїну гідрохлоридом без консервантів

Назва компоненту	Зразки гелів				
	1	2	3	4	5
Екстракт з листя шавлії	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Масло чайного дерева	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Лідокаїну гідрохлорид	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Хлоргексидину диглюконат	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Пропіленгліколь	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Карбопол 980	0,2	0,5	-	-	-
Карбомер Carbopol «Ultrez 21»	-	-	0,5	1,0	-
Трометамол (до рН 6,0)	+	+	+	+	-
Ксантанова камедь	-	-	-	-	1,0
Вода очищена	До 100 мл	До 100 мл	До 100 мл	До 100 мл	До 100 мл

Контроль якості розробленої гелевої продукції для лікування ран та опіків проводився згідно до методів та рекомендацій наведених у ДФУ 2.0., Т. 1 розділ «М'які лікарські засоби для нашкірного застосування».

Опис. Органолептично досліджували зовнішній вигляд і характерні властивості зразків гелів (забарвлення, запах, консистенцію тощо). Лікарські форми досліджувались щодо наявності / відсутності ознак фізичної нестабільності (агрегація часток, коагуляція, коалесценція, розшарування, тощо).

Визначення забарвлення і запаху. Зовнішній вигляд, забарвлення та запах визначали, переглядаючи мазки гелю, нанесені на предметне скельце шаром завтовшки 2–4 мм.

Визначення однорідності. Дослідження проводили за методикою, наведеною в монографії ДФУ 2.0., Т. 3 «М'які лікарські засоби, виготовлені в аптеках». По чотири проби досліджуваного зразка масою 20–30 мг, 57 поміщали між двома предметними скельцями, притискаючи їх для утворення зон діаметром 2 см. Отримані проби розглядали на відстані 30 см від очей. Зразок гелю вважали однорідним, якщо в усіх чотирьох пробах не виявлялися видимі частинки, включення та ознаки фізичної нестабільності (розшарування). Якщо одна з проб не витримувала випробування, визначення проводили додатково ще на восьми пробах, всі з яких повинні витримувати даний тест.

Визначення рН водних розчинів гелів. Значення рН досліджуваних зразків визначали потенціометрично (ДФУ, 2.0., Т. 1, п. 2.2.3), з використанням потенціометра. Всі вимірювання проводились при кімнатній температурі. Прилад калібрували з використанням стандартних буферних розчинів. Виготовляли 10% водні розчини модельних зразків гелів: 5,0 г гелю поміщали в конічну колбу місткістю 100 мл, додавали 45 мл води Р, перемішували до повного розчинення гелю.

Визначення густини. Здійснювали пікнометрично, використовуючи скляний пікнометр № 50 ($V \approx 64 \text{ cm}^3$) (ДФУ 2.0., Т. 1, п. 2.2.5).

Для ідентифікації та кількісного визначення лідокаїну гідрохлориду та хлоргексидину диглюконату в гелевій продукції використовували хімічну ідентифікацію та метод ВЕРХ із використанням діодно-матричного детектора. Отримані результати кількісного визначення

лідокаїну гідрохлориду у досліджуваних серіях гелю були близькими між собою. Враховуючи вимоги ДФУ щодо допустимих меж відхилення кількісного вмісту АФІ ($\pm 10\%$) у гелі, кількісним критерієм якості розробленого гелю за показником «Кількісний вміст лідокаїну гідрохлориду» було запропоновано інтервал від 18,00 до 22,00 мг в одному грамі гелю. Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок про те, що всі результати знаходяться в межах запропонованого кількісного критерію якості.

Для визначення спирту фенілетилового (консерванту) рекомендуємо застосовувати метод газової хроматографії, використовуючи газовий хроматограф «Agilent 6890N / 5973inert» (Agilent Technologies, США), із мас-спектрометричним детектором. З метою забезпечення вивільнення консерванту з гелю у випробовуваний розчин та розділення його з іншими АФІ та ексципієнтами були підібрані оптимальні умови пробопідготовки та хроматографування. Ідентифікацію спирту фенілетилового проводили шляхом порівняння мас-спектру при часі утримування відповідного піку на хроматограмі випробовуваного розчину (13,967 хв), отриманій в умовах кількісного визначення, з мас-спектром спирту фенілетилового з бібліотеки мас-спектрів NIST02. Враховуючи результати кількісного визначення консерванту у гелі, а також вимоги ДФУ щодо рекомендованих меж відхилення кількісного вмісту ($\pm 10\%$), запропоновано критерій вмісту спирту фенілетилового від 3,6 мг до 4,4 мг в 1 грамі гелю.

Визначення реологічних властивостей. Вивчення структурно-механічних (реологічних) параметрів виконували згідно вимог ДФУ 2.0., Т. 1, п. 2.2.10. Дослідження реологічних показників розробленого гелю проводили на ротаційному віскозиметрі «Rheomat – 30» (фірми Contraves AG, Швейцарія) із використанням адаптера ротаційного типу з коаксіальними циліндрами, який оснащений спеціальною проточною коміркою. Прилад прогрівали впродовж 20 хв до заданої температури, потім поміщали наважку гелю у камеру (зовнішній циліндр). Після вмикання приладу внутрішній циліндр починав обертання з малих швидкостей деформації, включаючи послідовно наступні швидкості зсуву. Дослідження проводили при різних температурах в інтервалі швидкостей зсуву від 0 до 452 с⁻¹. Температуру вимірювали лабораторним термометром з ціною поділки 0,1 °С.

Результати проведених досліджень свідчать, що при виготовленні експериментальних зразків № 1, 3, 5 утворюються рідкі або в'язкі рідини, які є нестабільними та не відповідають технологічним вимогам до гелів, а також візуально спостерігається випотівання води, наявність осаду та розшарування.

Зразки № 2, 4 являють собою стабільні однорідні гелі, однак, відрізняються в'язкістю і не всі відповідають задовільним сенсорним властивостям (легкість нанесення, швидкість і ступінь всмоктування, стан шкіри після нанесення, тощо). Тому, для подальших досліджень були вибрані зразки № 2, 4, які мають оптимальну в'язкість та придатні для нанесення 90 на шкіру. Склади гелів не відповідали вимогам – мають недостатньо в'язку консистенцію (зразок № 3). Зразки гелів № 2, 4 зберігалися у прохолодному місці при температурі 2–8 °С, та при кімнатній температурі протягом 3 міс. Гелеві зразки № 2 та № 4, які зберігались при температурі 2–8 °С на основі органолептичних показників виявились стабільними протягом даного терміну зберігання.

При виборі оптимального складу гелевої продукції для лікування ран та опіків важливим є вивчення здатності АФІ вивільнятись із гелевої основи. З цією метою досліджували вивільнення лідокаїну гідрохлориду з різних складів гелів. Ступінь вивільнення лідокаїну гідрохлориду із модельних зразків гелів визначали за ступенем дифузії через напівпроникну мембрану. Кількісний вміст лідокаїну гідрохлориду визначали у 25 мл отриманого діалізату методом абсорбційної спектрофотометрії в ультрафіолетовій області (за методом стандарту), визначаючи оптичну густину розчинів при 263 ± 2 нм. Електронні спектри поглинання лідокаїну гідрохлориду усіх зразків гелів характеризуються наявністю

максимуму поглинання при 263 нм. Встановлено, що найбільш повне вивільнення лідокаїну гідрохлориду спостерігалось із гелю на основі карбомеру Carbopol «Ultrez 21».

Додавання лідокаїну гідрохлориду в кількості 2,0% та екстракту з листя шавлії, масло чайного дерева до гелевої основи з 0,5% концентрацією карбомеру 980 (зразок № 2) знижувало показники структурної в'язкості, а при збільшенні концентрації карбомеру 980 основа ставала неоднорідною, з'являлись згустки та розшарування.

Залежність напруги зсуву від швидкості зсуву наведено на рис. 2. Розроблені гелі є неньютонівськими рідинами та мають пластичний тип текучості з нижньою межею плину. При постійно заданій швидкості зсуву в'язкість аналізованих зразків повільно зменшується, а при припиненні дії зовнішнього чинника на матеріал, навпаки, збільшується аж до повного або часткового відновлення в'язкості до початкового значення. На рис. 2 видно, що обидва зразки характеризуються наявністю верхньої та нижньої кривої течії, які не збігаються між собою та утворюють «петлю гістерезису», що свідчить про наявність тиксотропних властивостей.

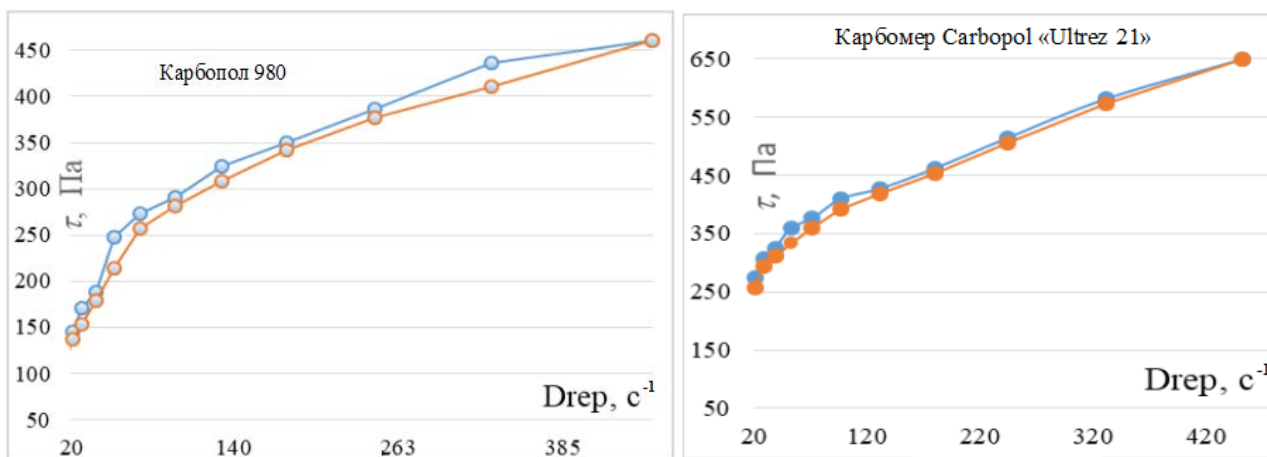


Рис. 2. Залежність напруги зсуву від швидкості зсуву при 20 °С

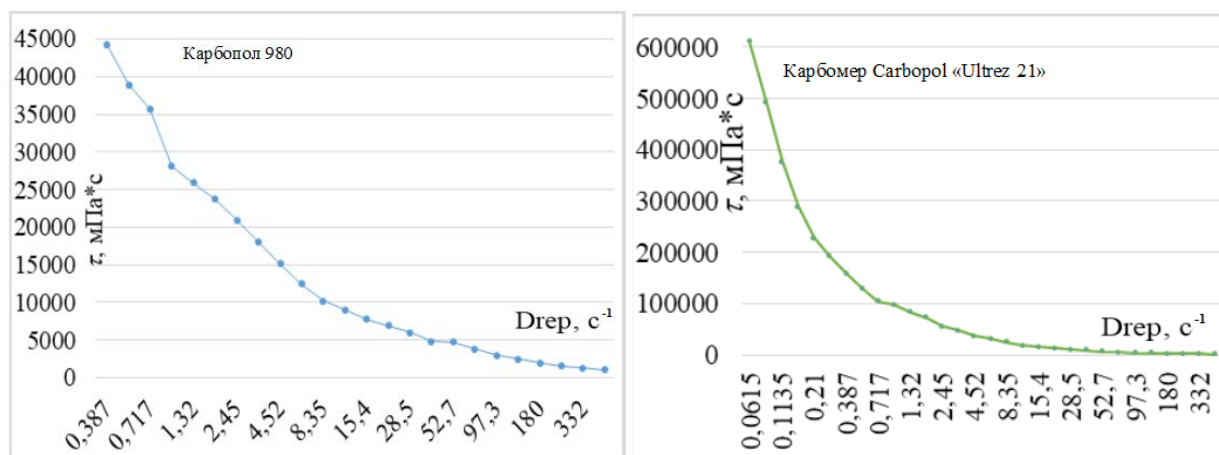


Рис. 3. Залежності динамічної в'язкості від швидкості зсуву гелю при 20 °С

Залежності динамічної в'язкості від швидкості зсуву гелю (рис. 3) відображають зниження структурної в'язкості під час зростання швидкості зсуву, що є закономірними для структурованих дисперсних систем на основі даних гелеутворювачів. Це в свою чергу забезпечує необхідні параметри технологічного процесу гелів та є кращими у зразка № 4 на основі карбомер Carbopol® «Ultrez 21» – 1%, що свідчить про те, що розроблений нами гель є структурованою дисперсною системою, та має задовільні структурно-механічні властивості.

За результатами експериментальних досліджень обрано зразок № 4, який має задовільні реологічні, а також органолептичні властивості, та до складу якого входить: лідокаїну гідрохлорид – 2%, хлоргексидину диглюконат – 2%, екстракт з листя шавлії – 10%, масло чайного дерева – 1,0; карбомер Carbopol «Ultrez 21» – 1%; трометамол – до рН 6,0, пропіленгліколь – 5% і вода очищена – до 100,0.

Важливе значення при оцінці якості гелевої продукції для лікування ран та опіків має мікробіологічний контроль, адже потрапляння у склад МЛФ мікроорганізмів (грампозитивних бактерій – *S. aureus*; грамнегативних культур – *E. coli*, *P. aeruginosa*; культури пліснявих та дріжджоподібних грибів роду *C. albicans* та *A. brasiliensis*) у процесі виробництва, зберігання чи використання може призвести до втрати стабільності продукту (розшарування, утворення цвілі) чи до зниження терапевтичної ефективності без наявних візуальних змін. Застосування таких лікарських препаратів є небезпечним, оскільки це, може призвести до зниження чи втрати терапевтичного ефекту ЛЗ, або до виникнення побічних реакцій чи нових захворювань. З цією метою виникає необхідність застосування антимікробних консервантів [9].

Встановлено, що консерванти, які входили до складу досліджуваних гелевих продуктів для лікування ран та опіків, у відповідних концентраціях та в умовах високого мікробного навантаження 10^5 – 10^6 КУО/мл були ефективними проти як грампозитивних та грамнегативних бактерій, так і проти дріжджоподібних грибів. Після 14-ти діб зберігання *C. albicans* у гелях з різними консервантами не було виявлено. Винятком став гель без консерванту (зразок № 1), у якому рівень дріжджових грибів знижувався впродовж всього періоду експерименту: на 2 добу зниження логарифму вихідного мікробного навантаження (lg) становило 0,35, на 7 добу спостереження – 1,7, на 14 добу – 2,81, на 28 добу – 4,19, що не відповідає вимогам ДФУ. Найефективнішими щодо *C. albicans* були зразки № 7 та 8, які містили бензалконію хлорид. У них на 2-гу добу експерименту росту грибів не виявляли, що вказує на високий рівень антигрибкової активності даних консервантів у складі гелю. Найменш ефективним був консервант у зразку № 5 (спирт фенілетилловий 0,25 %), оскільки на 2-гу добу зниження логарифму вихідного мікробного навантаження становило 2,7, і лише на 14-ту добу росту грибів не було виявлено. Консерванти ніпагін / ніпазол (0,2 %) та «Cosgard» (0,4 %) у зразках № 2 та № 4 проявили однакову дію проти *C. albicans*, росту не спостерігали починаючи із 7-ї доби експерименту.

Аналізуючи отримані результати антимікробних властивостей зразків гелевої продукції для лікування ран та опіків щодо *P. aeruginosa*, слід відзначити, що спирт фенілетилловий у концентрації 0,25% (зразок № 5) виявився найбільш ефективними: після 2-х діб культивування у них життєздатних клітин не спостерігали. У зразку гелю без консерванту (зразок № 1) рівень життєздатних клітин *P. aeruginosa* впродовж дослідження поступово знижувався – на 2-гу добу експерименту значення логарифму вихідного мікробного навантаження становило – 1,0, на 7-му – 3,74. При подальшому зберіганні цього гелю життєздатних клітин у даному зразку не виявлено. Консерванти ніпагін / ніпазол (0,2 та 0,4 %), «Cosgard» (0,4 %) у зразках № 2, 3, 4 відповідно, проявили однакову ефективність – росту не спостерігали, починаючи з 7-ої доби.

За результатами проведених досліджень найбільш прийнятним консервантом у складі розробленого гелю обрано спирт фенілетилловий у концентрації 0,4%, що зумовлено проявом його високої антимікробної активності у даній фармацевтичній композиції, фізіологічною безпечністю, економічністю, а також можливістю його використання як ароматизатора.

Процес виготовлення розробленого гелю для лікування ран та опіків складається з стадії допоміжних робіт; стадій виготовлення ЛЗ; стадій пакування, маркування і відвантаження на склад готової продукції [12]. Склад розробленого гелю наведемо у табличному вигляді (табл. 2).

Таблиця 2

Склад розробленого гелю від ран та опіків, г

Компонент гелю від ран та опіків	Вміст у ЛФ
Екстракт з листя шавлії	10,0
Пропіленгліколь	5,0
Лідокаїну гідрохлорид	2,0
Хлоргексидину диглюконат	2,0
Масло чайного дерева	1,0
Карбомер Carbopol «Ultrez 21»	1,0
Трометамол до рН 6,0–6,5	+
Спирт фенілетиловий	0,4
Вода очищена	До 100,0 мл

Послідовність введення компонентів розробленого гелю визначають відповідно до розроблених умов приготування гелю, що має важливий вплив на ефективність ЛЗ. Швидкість розчинення, диспергування та гомогенізації визначають при дослідженні фармако-технологічних показників гелю. Для отримання розробленого гелю від ран та опіків використовують лабораторне обладнання, що застосовується у виробництві МЛФ. Нами розроблено технологічну схему виробництва гелю, яка включає 9 стадій, із яких 6 стадій основного технологічного процесу та 3 стадії пакування.

Стадія 1. Підготовка сировини. АФІ та ДР для виготовлення гелю (лідокаїну гідрохлорид, екстракт з листя шавлії, масло чайного дерева, Carbopol® «Ultrez 21», трометамол, спирт фенілетиловий, пропіленгліколь, вода очищена) після проходження вхідного контролю доправляють на дільницю. На ситі проводять просіювання Carbopol® «Ultrez 21» в необхідній кількості на серію. Потім сипкі речовини послідовно відважують за допомогою ваг, а рідкі відмірюють з використанням мірника. Відміряну та відважену сировину передають на стадії виробництва за допомогою транспортних візків.

Стадія 2. Приготування розчину лідокаїну гідрохлориду та хлоргексидину диглюконату. Із стадії 1 беруть необхідну кількість води очищеної і завантажують у реактор. Також у реактор завантажують попередньо відважену кількість лідокаїну гідрохлориду із стадії 1. Інгредієнти у реакторі перемішують мішалкою протягом встановленого часу до повного розчинення та утворення прозорого розчину. Проводять візуальний контроль. В окремій ємності готують необхідний об'єм розчину хлоргексидину диглюконат, який додають до утвореної гелевої суміші.

Стадія 3. Приготування нейтралізатора. Із стадії 1 відбирають потрібну кількість води очищеної та вносять у реактор, завантажують попередньо відважену кількість трометамолу. Компоненти у реакторі перемішують мішалкою протягом визначеного часу до повного розчинення та утворення прозорого розчину. Проводять візуальний контроль, при цьому розчин повинен бути прозорим і не мати нерозчинених часток.

Стадія 4. Отримання гелевої основи. У реактор до попередньо відміряної кількості води очищеної на стадії 1 завантажують попередньо просіяний та відважений на стадії 1 Carbopol® «Ultrez 21», перемішують та залишають для набрякання. Через 1 год утворену основу перемішують до однорідності та додають розчин лідокаїну гідрохлориду, який отримано на стадії 2, нейтралізують розчином трометамолу, який отримано на стадії 3. Контролюють рН утвореної основи рН-метром. Гелева основа повинна бути однорідною та не мати злиплих грудок.

Стадія 5. Одержання гелю. У реактор до попередньо приготовленої гелевої основи на стадії 4 послідовно вводять із стадії 1 відміряні екстракт з листя шавлії, масло чайного дерева

та пропіленгліколь, у якому попередньо розчиняють спирт фенілетиловий, вмикають мішалку і перемішують протягом визначеного часу до отримання однорідної маси.

Стадія 6. Гомогенізація гелю. Гомогенізацію гелю проводять з одночасним вакуумуванням для уникнення процесу аерації у гелі протягом визначеного часу при включеній мішалці. Гель – однорідна маса з білою опалесценцією з характерним квітковим запахом.

Стадія 7. Фасування гелю в туби. Отриманий гель перекачують у бункер тубонаповнювального автомату, за допомогою якого визначену масу гелю фасують в туби. Номер серії та термін придатності наносять тисненням на хвостовик туби. Проводять контроль точності дозування, правильності маркування (серія, термін придатності), комплектності та цілісності упаковок.

Стадія 8. Пакування туб у пачки та коробки. Туби з інструкцією до застосування упаковують у індивідуальні упаковки на автоматі для пакування туб в пачки. Вручну на столі для пакування проводять упаковку туб в індивідуальних упаковках в групові коробки, на які наклеюють групові етикетки. Проводять контроль маркування (номер серії, термін придатності), комплектності та цілісності упаковки, кількість індивідуальних упаковок з тубами у груповій коробці. Групові коробки з готовою продукцією складають на піддони та відправляють на склад готової продукції.

Результати дослідження умов зберігання розробленого гелю від ран та опіків засвідчують, що зберігали при температурі 2–8 °С, відповідають вимогам, що наведені у проекті МКЯ. Зразки гелів, які зберігалися впродовж 18 місяців при кімнатній температурі у захищеному від світла місці, не відповідають вимогам, запропонованим в проекті МКЯ для розробленого гелю, що свідчить про нестабільність гелю під час зберігання при кімнатній температурі. Таким чином, вивчено стабільність розробленого гелю, а також встановлено термін і умови його зберігання та доведено, що він є стабільним при зберіганні за температури 2–8 °С у тубах по 30,0 г впродовж 24 місяців.

Вивчення мікробіологічної чистоти розрахованого гелю для ран та опіків проводилось згідно методики, яку наведено у ДФУ 2.0., 2.6.12., 2.6.13. З метою вивчення МБЧ визначали кількість бактерій та грибів, а також присутність патогенних і умовнопатогенних мікроорганізмів: *S. aureus*, *P. aeruginosa*. Відповідно до критеріїв прийнятності МБЧ готових нестерильних ЛЗ для місцевого застосування визначається загальне число життєздатних непатогенних мікроорганізмів, а також відсутність бактерій в 1 г (*P. aeruginosa*, *S. aureus*). В 1,0 г препарату допускається наявність не більше 100 КУО аеробних мікроорганізмів (ТАМС) і 10 КУО дріжджових та плісневих грибів (ТУМС). Не допускається наявність бактерій *P. aeruginosa* і *S. aureus*. Визначення МБЧ проводили після виготовлення гелю, а також в процесі його зберігання (у тубах при 2–8 °С).

Попередні результати показали, що в умовах визначення МБЧ на Сабуродекстрозному агарі (*гриби C. albicans*, *A. brasiliensis*) та на живильному соєвоказеїновому агарі (*S. aureus*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis*) в розведенні 1:10 зразки не виявляють пригнічуваної дії на життєздатність аеробних мікроорганізмів, 172 дріжджових та плісневих грибів.

Отримані результати засвідчують, що у розробленому гелі для ран та опіків не виявлено бактерій *Enterobacteriaceae*, *P. aeruginosa* та *S. aureus* в 1 г зразка. Встановлено, що загальне число дріжджових і плісневих грибів (ТУМС) становить не більше 10¹ КУО в 1 г зразка, загальне число аеробних мікроорганізмів (ТАМС) становить не більше 10² КУО в 1 г зразка, що відповідає вимогам ДФУ щодо мікробіологічної чистоти. Результати перевірки на МБЧ доводять, що обраний консервант (спирт фенілетиловий в концентрації 0,4 %) забезпечує мікробіологічну чистоту розробленого гелю при зберіганні у холодильнику (2–8 °С) протягом 27 місяців.

Висновки. Проаналізовано наукову літературу за обраним напрямком дослідження. Проаналізовано асортимент ЛЗ для лікування ран та опіків на українському фармацевтичному

ринку та встановлено, що дана група ЛЗ представлена 105 препаратами різної форми випуску. В Україні, найбільшу частку займають препарати м'якої форми випуску. На підставі проведених досліджень обґрунтовано оптимальний склад гелю від ран та опіків та розроблений наступний склад засобу: Екстракт з листя шавлії – 10%, пропіленгліколь – 5%, лідокаїну гідрохлорид – 2%, хлоргексидину диглюконат – 2%, карбомер Carbopol® «Ultrez 21» – 1%; масло чайного дерева – 1,0%, трометамол – до рН 6.0, спирт фенілетиловий – 0,4% і вода очищена – до 100,0. Розроблено технологічну схему виробництва і проведено по-стадійний контроль якості розробленого гелю. За результатами мікробіологічних досліджень підтверджено доцільність та ефективність введення антимікробного консерванта спирту фенілетилового в концентрації 0,4%.

На основі отриманих даних запропоновано умови зберігання гелю від ран та опіків – при температурі 2–8 °С у тубах по 30,0 г у захищеному від світла місці, термін придатності – 2 роки.

References

Література

1. Bavykina, M. L., Vyshnevs'ka, L. I. (2016). Doslidzhennia antimikrobnoi aktyvnosti konservativ z metoiu rozrobky vahinal'noho heliu [Study of the antimicrobial activity of preservatives for the purpose of developing a vaginal gel]. *Upravlinnia, ekonomika ta zabezpechennia yakosti v farmatsii = Management, economics and quality assurance in pharmacy*, 1: 8–13 [in Ukrainian].
2. Varankina, O. O. (2015). Pidbir umov ekstrakuvannia biolohichno aktyvnykh rechovin z koreniv ta korenevysch [Selection of conditions for extraction of biologically active substances from roots and rhizomes]. *Sbornyk materialov III Mezhdunarodnoj nauchno-praktycheskoj konferentsyy «Khymiya, Vy- u Nanotekhnolohyy, ekolohyia y ekonomyka v pyschevoj y kosmetycheskoj promyshlennosti» = Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Chemistry, Bio- and Nanotechnology, Ecology and Economics in the Food and Cosmetic Industry"* (15–16.10.2015). Kharkiv: Vydavnytstvo KhNADU. P. 233–235 [in Ukrainian].
3. Gudz, N. I., Shanaida, M. I., Darmogray, R. E. (2020). Shavliya likarska (*Salvia officinalis* L.): prospects for vicarious syrup as a gerel of herbal preparations in antioxidant and antimicrobial activity [Medicinal sage (*Salvia officinalis* L.): prospects for the use of raw materials as a source of herbal preparations with antioxidant and antimicrobial action]. *News of pharmacy*, 2 (100): 11–19 [in Ukrainian].
4. Vons, B. V., Chubka, M. B. (2017). Dotsil'nist' stvorennia novoho likars'koho zasobu dlia mistsevoho likuvannia opikiv [The expediency of creating a new medicinal product for the local treatment of burns]. *V nauk.-prakt. konf. shkoly molodykh naukovtsiv PAT «Farmak». Nauka ta suchasne farmatsevtichne vyrobnytstvo = V scientific-practical conf. school of young scientists PJSC Farmak. Science and modern pharmaceutical production* (19.10.2017), Kyiv, P. 17–18 [in Ukrainian].
5. Vons, B. V., Chubka, M. B., Hroshovyj, T. A. (2019). Porivnial'ne doslidzhennia asortymentu likars'kykh zasobiv dlia mistsevoho likuvannia opikiv, zareiestrovanykh na
1. Бавикіна М. Л., Вишнеvsька Л. І. Дослідження антимікробної активності консервантів з метою розробки вагінального гелю. *Управління, економіка та забезпечення якості в фармації*. 2016. № 1. С. 8–13.
2. Варанкіна О. О. Підбір умов екстрагування біологічно активних речовин з коренів та кореневищ. *Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Химия, Био- и Нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности»* (15–16.10.2015). Харків: Видавництво ХНАДУ, 2015. С. 233–235.
3. Гудзь Н. І., Шанайда М. І., Дармограй Р. Є. Шавлія лікарська (*Salvia officinalis* L.): перспективи використання сировини як джерела рослинних препаратів антиоксидантної та антимікробної дії. *News of pharmacy*. 2020. № 2 (100). С. 11–19.
4. Вонс Б. В., Чубка М. Б. Доцільність створення нового лікарського засобу для місцевого лікування опіків. *В наук.-практ. конф. школи молодих науковців ПАТ «Фармак». Наука та сучасне фармацевтичне виробництво* (19.10.2017). Київ, 2017. С. 17–18.
5. Вонс Б. В., Чубка М. Б., Грошовий Т. А. Порівняльне дослідження асортymentу лікарських засобів для місцевого лікування

- farmatsevychnomu rynku Ukrainy ta Frantsii [A comparative study of the range of medicines for the local treatment of burns, registered on the pharmaceutical market of Ukraine and France]. *VII mizhnar. nauk.-prakt. dystantsijna konf. = VII International science and practice remote conf.* (21.03.2019). Malyj, V. V. et al. (eds.). Kharkiv: NFaU. P. 240 [in Ukrainian].
6. Horlachova, V. I., Vyshnevs'ka, L. I. (2016). Doslidzhennia efektyvnosti antimikrobnikh konservativ z metoiu udoskonalennia skladu likars'koho kosmetychnoho zasobu protyzapal'noi dii [Study of the effectiveness of antimicrobial preservatives with the aim of improving the composition of the anti-inflammatory medicinal cosmetic product]. *Biofarmatsevychnyj zhurnal = Biopharmaceutical journal*, 1 (42): 16–20 [in Ukrainian].
7. Kran, O. S., Bashura, O. H., Baranova, I. I. (2015). Stvorennia kombinovanoho heliu dlia likuvannia ran u druhij fazi ranovoho protsesu [Creation of a combined gel for the treatment of wounds in the second phase of the wound process]. *Upravlinnia, ekonomika ta zabezpechennia iakosti v farmatsii = Management, economics and quality assurance in pharmacy*, 4: 33–41 [in Ukrainian].
8. Pavliuk, B. V., Lukashiv, O. Ya, Pokryshko, O. V., Chubka, M. B. (2019). Doslidzhennia antimikrobnoi aktyvnosti konservativ z metoiu rozrobky skladu kombinovanoho heliu dlia mistsevoho likuvannia opikiv [Study of the antimicrobial activity of preservatives in order to develop the composition of a combined gel for the local treatment of burns]. *Farmatsevychnyj chasopys = Pharmaceutical journal*, 3: 35–42 [in Ukrainian].
9. Pelekh, I. R., Bilous, S. B. (2018). Suchasni pidkhody do zastosuvannia emul'hatoriv ta konservativ u skladi dermatolohichnykh likars'kykh zasobiv [Modern approaches to the use of emulsifiers and preservatives in the composition of dermatological medicines]. *Farmatsevychnyj chasopys = Pharmaceutical journal*, 3: 52–57 [in Ukrainian].
10. Shram, N. A., Moschits, V. F., Dmytriievskiy, D. I. (2017). Doslidzhennia stabil'nosti ta vyznachennia umov zberihannia i terminu prydatnosti mazi «Estan» [Study of stability and determination of storage conditions and shelf life of "Estan" ointment]. *Farmatsevychnyj chasopys = Pharmaceutical journal*, 2: 59–63 [in Ukrainian].
11. Farmakopeia Ukrainy [Pharmacopoeia of Ukraine] (2015). 2nd ed. Vol. 1. Kharkiv: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrains'kyj naukovyj farmakopejnyj tsentr iakosti likars'kykh zasobiv». 1128 p. [in Ukrainian].
12. Aizenman, B. E., Derbentseva, N. A., Zelepukha, S. I. et al. (1982). Salvin – antibiotic prepared from garden sage. *Mikrobiol. zh.*, 44(3): 69–72.
13. Santos-Gomes, P. S., Fernandes-Ferreira, M. (2001). Organ and seasondependent variation in the essential oil composition of Salvia officinalis L. *Mikrobiol. zh.*, 44(3): 69–72.
- опіків, зареєстрованих на фармацевтичному ринку України та Франції. *VII міжнар. наук.-практ. дистанційна конф.* (21.03.2019). Малий В. В. та ін. (редкол.). Харків: НФаУ, 2019. С. 240.
6. Горлачова В. І., Вишнеvsька Л. І. Дослідження ефективності антимікробних консервантів з метою удосконалення складу лікарського косметичного засобу протизапальної дії. *Біофармацевтичний журнал*. 2016. № 1 (42). С. 16–20.
7. Кран О. С., Башура О. Г., Баранова І. І. Створення комбінованого гелю для лікування ран у другій фазі ранового процесу. *Управління, економіка та забезпечення якості в фармації*. 2015. № 4. С. 33–41.
8. Павлюк Б. В., Лукашів О. Я, Покришко О. В., Чубка М. Б. Дослідження антимікробної активності консервантів з метою розробки складу комбінованого гелю для місцевого лікування опіків. *Фармацевтичний часопис*. 2019. № 3. С. 35–42.
9. Пелех І. Р., Білоус С. Б. Сучасні підходи до застосування емульгаторів та консервантів у складі дерматологічних лікарських засобів. *Фармацевтичний часопис*. 2018. № 3. С. 52–57.
10. Шрам Н. А., Мошціц В. Ф., Дмитрієвський Д. І. Дослідження стабільності та визначення умов зберігання і терміну придатності мазі «Естан». *Фармацевтичний часопис*. 2017. № 2. С. 59–63.
11. Фармакопея України. 2-е вид. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с.
12. Aizenman B. E., Derbentseva N. A., Zelepukha S. I. et al. Salvin – antibiotic prepared from garden sage. *Mikrobiol. zh.* 1982. Vol. 44. № 3. P. 69–72.
13. Santos-Gomes P. S., Fernandes-Ferreira M. Organ and seasondependent variation in the essential oil composition of Salvia officinalis L.

- composition of *Salvia officinalis* L. cultivated at two different sites. *J. Agr. Food.*, 49(6): 2908–2916.
14. Masterova, I., Misicova, E., Sirotkova, L. et al. (1996). Royleanony v koreni *Salvia officinalis* L. domacej proveniencie a ich antimicrobna aktivita. *Ceska. Slov. Farm.*, 45(5): 242–245.
15. Offord, E. A., Gautier, J.-Ch., Avanti, O. et al. (2002). Photoprotective potential of lycopene, p-carotene, vitamin E, vitamin C and carnosic acid in UVA-irradiated human skin fibroblasts. *Free Radical Biol. and Med.*, 32(12): 1293–1313.
16. Schwarz, K., Ternes, W. (1992). Antioxidative constituents of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis* L. Determination of phenolic diterpenes with antioxidative activity amongst tocochromanols using HPLC. *Z. Lebensmit.*, 195(2): 95–98.
17. Wolf-Bors, Ch. M., Stettmaier, K., Lu, Y., Foo, L. Y. (2004). Antioxidant mechanisms of polyphenolic caffeic acid oligomers, constituents of *Salvia officinalis*. *Biol. Res.*, 37(2): 1099–1104.
- cultivated at two different sites. *J. Agr. Food.* 2001. Vol. 49. № 6. P. 2908–2916.
14. Masterova I., Misicova E., Sirotkova L. et al. Royleanony v koreni *Salvia officinalis* L. domacej proveniencie a ich antimicrobna aktivita. *Ceska. Slov. Farm.* 1996. Vol. 45. No. 5. P. 242–245.
15. Offord E. A., Gautier J.-Ch., Avanti O. et al. Photoprotective potential of lycopene, p-carotene, vitamin E, vitamin C and carnosic acid in UVA-irradiated human skin fibroblasts. *Free Radical Biol. and Med.* 2002. Vol. 32. № 12. P. 1293–1313.
16. Schwarz K., Ternes W. Antioxidative constituents of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis* L. Determination of phenolic diterpenes with antioxidative activity amongst tocochromanols using HPLC. *Z. Lebensmit.* 1992. Vol. 195. № 2. P. 95–98.
17. Wolf-Bors Ch. M., Stettmaier K., Lu Y., Foo L. Y. Antioxidant mechanisms of polyphenolic caffeic acid oligomers, constituents of *Salvia officinalis*. *Biol. Res.* 2004. Vol. 37. № 2. P. 1099–1104.

ROIK OLENA

Candidate of Pharmaceutical Sciences,
Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5988-6577>
Scopus Author ID: 57216831699
Researcher ID: AAR-6065-2020
E-mail: alena_08@ukr.net

NIKITINA OLHA

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6994-4294>
E-mail: nikitinap1046@gmail.com

ROIK O. M., NIKITINA O. O.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

JUSTIFICATION OF THE COMPOSITION AND TECHNOLOGY OF THE GEL FOR THE TREATMENT OF WOUNDS AND BURNS WITH SAGE MEDICINAL EXTRACT

The purpose is to develop an optimal composition and technology for the production of a gel-based drug for the treatment of wounds and burns with Sage medicinal extract. Establish physico-chemical and technological characteristics of the properties of the developed agent.

Methodology. Theoretical and empirical methods used in the work are the study of literature on the chosen topic; methods of comparative analysis, systematic approach, experimental research, synthesis, statistical methods for collecting and processing information.

Results. The Ukrainian market of drugs for the treatment of wounds and burns was analyzed and it was found that this group of drugs is represented by 105 drugs of various forms of release. In Ukraine, the largest share is occupied by soft-release drugs, and the development of such a dosage form that would meet the requirements for an ideal coating is an actual direction in modern drug technology. The substantiation of the introduction of sage medicinal extract has been carried out. One of the most promising forms for the treatment of wounds and burns are gels, which are soft drugs, which are intended for topical application. According to the results of the studies, phenylethyl alcohol at a concentration of 0.4% was chosen as the most

acceptable preservative in the composition of the developed gel, which is due to the manifestation of its high antimicrobial activity in this pharmaceutical composition, physiological safety, economy, and the possibility of its use as a flavoring agent. The manufacturing process of the developed gel for the treatment of wounds and burns consists of the stage of auxiliary work; stages of drug manufacturing; stages of packaging, labeling and shipment to the warehouse of finished products.

Scientific novelty. Based on the studies, the optimal composition of the gel for wounds and burns was substantiated and its composition was calculated as follows: Extract from sage leaves – 10%, tea tree oil 1,0%, lidocaine hydrochloride – 2%, Chlorhexidine digluconate – 2%, carbomer Carbopol® «Ultrez 21» – 1%; trometamol – up to pH 6.0, propylene glycol – 5%, phenylethyl alcohol – 0.4% and purified water – up to 100.0. A technological scheme of production has been developed and a stage-by-stage quality control of the developed gel has been carried out. According to the results of microbiological studies, the expediency and effectiveness of the introduction of the antimicrobial preservative phenylethyl alcohol at a concentration of 0.4% was confirmed. On the basis of the data obtained, the conditions for storing the gel from wounds and burns are proposed – at a temperature of 2–8 °C in tubes of 30.0 g in a place protected from light, the shelf life is 2 years.

Practical significance. The composition of the gel for the treatment of wounds and burns is calculated and can be used for industrial production and it can complement the existing range of drugs on this issue.

Keywords: gels; release agents; gel base; preservative; sage leaf extract; Sage medicinal extract; lidocaine; Carbomer Carbopol; burn treatment; active auxiliary ingredient (API); drug.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.10>

УДК 678.06:
623

САВЧЕНКО Б. М., СОБА Н. В.,
НОВИЦЬКИЙ С. С, РОЗВОРА Л. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОНАПОВНЕНИХ ПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІОЛЕФІНІВ

Мета дослідження. Встановлення впливу вмісту концентрату наповнювача, його вологості та природи полімерної основи на властивості рукавних плівок на основі різних видів поліетилену.

Методи дослідження. Механічні властивості дослідних зразків – межу текучості при розтязі, міцність та відносне видовження при розриві – визначали з використанням лабораторної розривної машини P5 за ISO 527-2:2012. Густина плівкових зразків визначали методом гідростатичного зважування з використанням аналітичних вагів Radwag AS2.

Результати. Проведено дослідження впливу вмісту наповнювача у вигляді концентратів на основі первинного та вторинного поліетилену на фізико-механічні властивості рукавних плівок на основі LDPE та LLDPE. Введення до 20% мас. кондиціонованого концентрату наповнювача на первинному поліетилені зумовлює зниження міцності при розриві на 17% для LDPE та 13% для LLDPE відповідно, а при використанні кондиціонованого концентрату на основі вторинного поліетилену – на 11% та 5% відповідно. У випадку введення 40% мас. кондиціонованого концентрату наповнювача міцність при розриві для LDPE знижується на 30%, а для LLDPE – на 20%. Введення наповнювача, здійснене за допомогою концентрату на первинній та вторинній сировині, не виявило суттєвої відмінності в комплексі механічних характеристик, що дозволяє застосовувати вторинний поліетилен як основу для отримання концентратів наповнювача.

Досліджено вплив рівноважної вологості концентрату наповнювача на властивості плівкових матеріалів. При введенні 40% мас. концентрату наповнювача на основі вторинного поліетилену з рівноважною вологістю 0,12% в LDPE, значення відносного видовження знижується на 52%, а у випадку висушеного концентрату з вологістю 0,05% – лише на 22%.

Наукова новизна. Встановлено вплив вмісту наповнювача на основі вторинного поліетилену на властивості плівкових матеріалів.

Практична значимість. Показано можливість застосування вторинної сировини для створення концентратів наповнювача при виготовленні високонаповнених плівок для пакування.

Ключові слова: поліолефіни, мінеральний наповнювач, високонаповнені плівкові матеріали, механічні властивості, рукавні плівки.

Вступ. Полімерні відходи та способи їх утилізації є актуальним питанням сучасної промисловості [1]. Існує кілька шляхів вирішення цього питання – перехід на біополімери, здатні до компостування, вторинна переробка полімерних відходів та зменшення застосування синтетичної полімерної складової.

Перехід до використання біополімерів вже почався в Україні, але це неможливо здійснити одномоментно. В результаті з'являється проблема утворення сумішей відходів біополімерів та синтетичних полімерів, які складно переробляти традиційними методами у якісну вторинну сировину. Найбільш раціональним варіантом є поглиблення вторинної переробки та зменшення застосування синтетичних полімерів. Однією з технологій зменшення застосування синтетичних полімерів є введення мінеральних наповнювачів. Наповнювачі можна вводити в полімерні матеріали через компаунди або через концентрати. Найбільш поширений спосіб введення – через концентрати. Технологія застосування наповнювачів може бути скомбінована з вторинною переробкою. Для поєднання технології наповнювання та вторинної переробки можливо використовувати концентрати наповнювача, виготовлені на полімерній матриці з вторинної сировини. Такий спосіб є досить цікавим як з екологічної, так і з економічної сторін. Застосування мінерального наповнювача – карбонату кальцію дозволяє знизити частку застосовуваної полімерної сировини, а отже, і знизити

собівартість виробів. При попаданні в навколишнє середовище такі високонаповнені композити в меншій мірі забруднюють його, плівкові матеріали з таких композитів мають вищу густину, важче розносяться вітром та здатні тонути у воді [2].

Введення наповнювача в поліолефіни приводить до зміни їх фізико-механічних характеристик [3]. Так, 5% мас. карбонату кальцію в поліпропілені (PP) виступає нуклеатором системи, а при 20% мас. спостерігаються зміни теплофізичних характеристик матеріалу [4]. Введення дисперсного наповнювача карбонату кальцію в PP до 60% мас. приводить до зниження механічних властивостей при розтязі. Проте, якщо застосовувати титанатно оброблений наповнювач, то вдається досягти кращого розподілу частинок в матриці та їх адгезійної взаємодії, що покращує механічні властивості композиту [5].

Обробка наповнювача карбонату кальцію функціональними силанами дозволяє покращити адгезійну взаємодію з полімером, що забезпечує збереження механічних властивостей наповнених поліолефінів [6].

Також присутність наповнювача впливає на кристалічність полімеру, надає композиту певної пластичності [7]. Введення в поліетилен високої густини (HDPE) до 50% мас. карбонату кальцію, обробленого фосфатами, зумовлює покращення його ударної в'язкості та зростання пластичності [8]. Для композитів на основі HDPE, наповнених мікрокарбонатом кальцію, спостерігається покращення термічної стабільності матеріалу [9].

Кількість компатибілізатору, що вводиться в композит, часто перевищує 5% і негативно впливає на фізико-механічні властивості композиту. Застосування біокомпатибілізатору епоксидованого соєвого масла в кількості 1% мас. забезпечує покращення розподілу частинок карбонату кальцію в HDPE матриці [10].

Отже, створення високонаповнених композитів на основі поліолефінів дозволяє регулювати їх властивості і є актуальною задачею на шляху до вирішення глобальної проблеми переробки полімерних відходів.

Постановка завдання. Метою роботи було встановлення впливу вмісту концентрату наповнювача, його вологості та природи полімерної основи на властивості рукавних плівок на основі різних видів поліетилену.

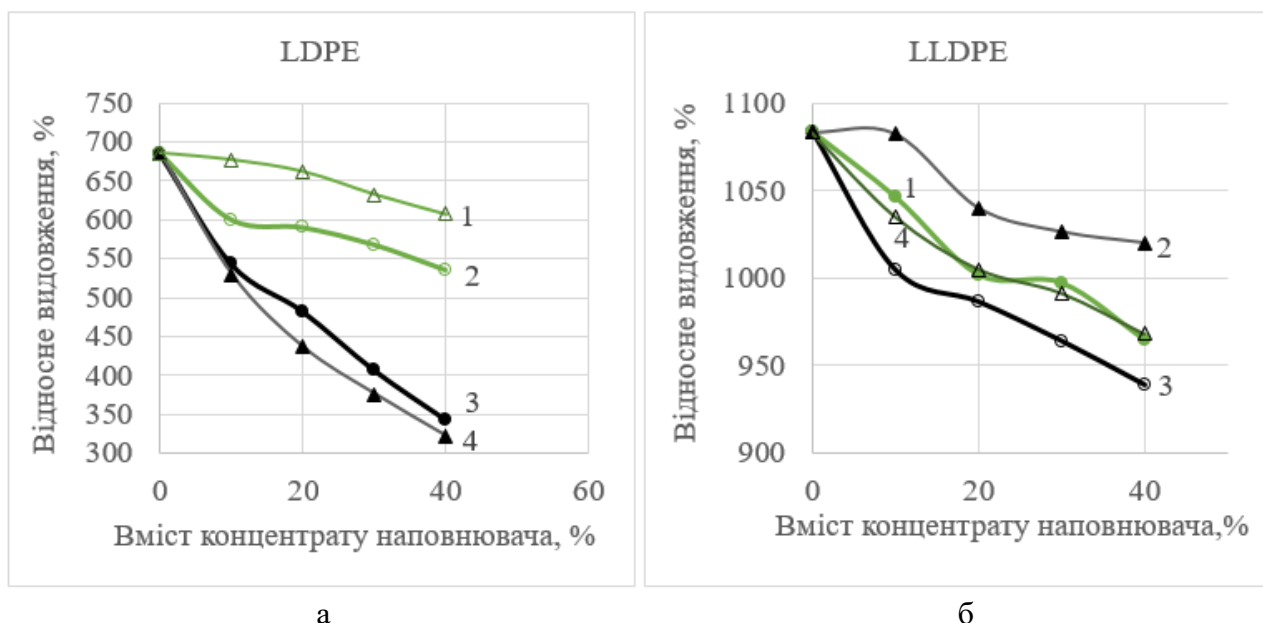
Вихідні матеріали та методи. Для досліджень було використано поліетилен низької густини (LDPE) марки Socar 15803-020, та лінійний поліетилен низької густини (LLDPE) марки Sabic HP 2023sn. LDPE володіє розгалуженою макромолекулярною структурою. LLDPE характеризується лінійною макромолекулярною структурою та містить співполімерні ланки в структурі макромолекул, що забезпечують покращені механічні властивості полімеру. Вибір даних марок поліетилену обумовлений їх широким застосуванням для виготовлення рукавних плівок пакувального призначення. Як мінеральний наповнювач використовували карбонат кальцію природного походження марки Omya Carb 2T (Omya AG®). Для введення обраного наповнювача в плівку обрано технологію концентрату, яка передбачає попереднє введення наповнювача у кількості 80% мас. у полімерну основу. Для полімерної основи було використано первинний лінійний поліетилен низької густини та вторинний поліетилен. Концентрати наповнювача виготовлялись на підприємстві ТОВ «Компаунд полімер Юкрейн» (м. Полтава), марки FC1- 80LLV002 та FC2- 80LLR001 відповідно. Концентрати наповнювача вводили у плівку у кількості від 10 до 40% мас. Застосовували концентрати наповнювача у кондиціонованому та у попередньо висушеному станах. Кондиціонування концентрату наповнювача проводили протягом 7 днів при температурі 20°C та вологості 75%. Рівноважний вміст води в концентраті складав 0,12%. Висушування концентрату здійснювали протягом 6 год при 60°C в повітряній термошафі з циркуляцією повітря до досягнення рівня вологості концентрату 0,05%.

Дослідні зразки у вигляді рукавних плівок отримували з використанням лабораторної плівкової лінії SCM Film blowing machine з діаметром шнеку $D = 20$ мм та $L/D = 28$. Діаметр

філь'ери складав 40 мм, товщина формувального проміжку – 1 мм. Коефіцієнт роздуву – 2, коефіцієнт повздовжнього витягування – 3,5. Температурний профіль – 160 – 200 – 190 – 190 – 195 °С. Швидкість обертання шнеку 50 об/хв, продуктивність 1,2 кг/год.

Механічні властивості отриманих плівок – межу текучості при розтязі, міцність та відносне видовження при розриві визначали на розривній машині P5 за ISO 527-2:2012. Густина отриманих зразків визначали за ISO 1183-1:2019, використовуючи аналітичні ваги RADWAG з опцією гідростатичного зважування.

Результати досліджень. Механічні властивості отриманих рукавних плівок з різним вмістом наповнювача наведені на рис. 1–3.



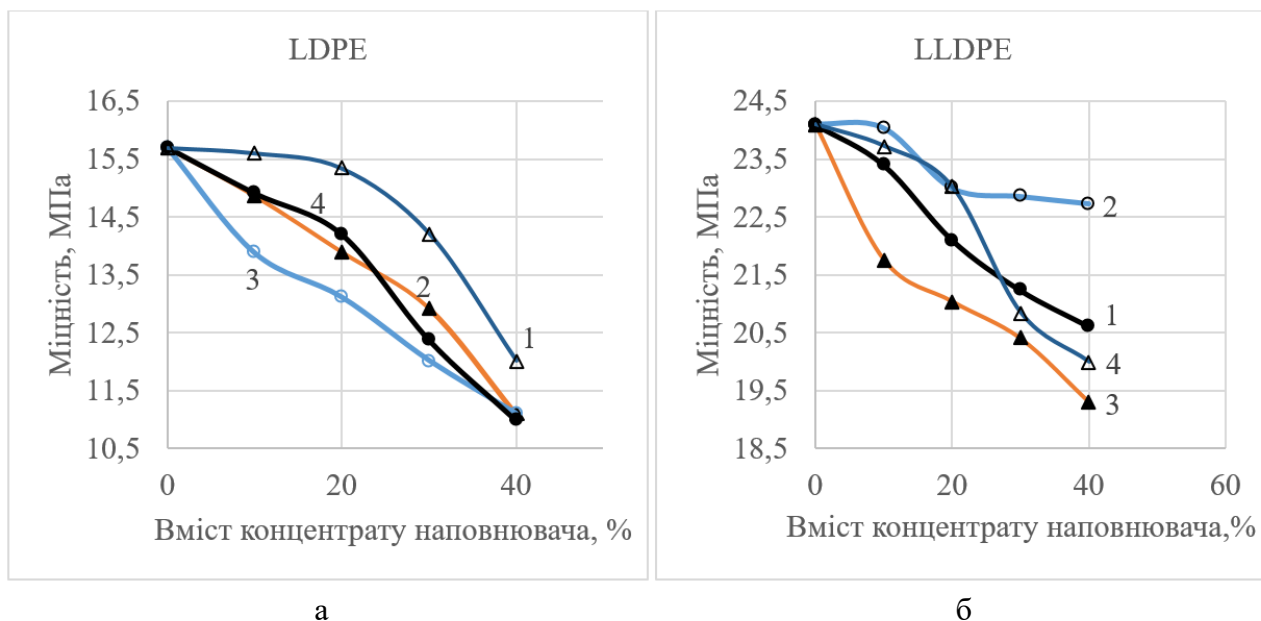
Легенда: 1 – висушений концентрат наповнювача на первинній сировині; 2 – висушений концентрат наповнювача на вторинній сировині; 3 – кондиціонований концентрат наповнювача на первинній сировині; 4 – кондиціонований концентрат наповнювача на вторинній сировині.

Рис. 1. Залежність відносного видовження при розриві від вмісту наповнювача для LDPE (а) та LLDPE (б)

Введення наповнювача призводить до зниження відносного видовження при розриві, хоча в незначній мірі. Падіння відносного видовження при зростанні вмісту наповнювача у випадку використання попередньо висушеного концентрату наповнювача значно менше, ніж при застосування кондиціонованого. Так, при введенні 40% попередньо висушеного концентрату наповнювача відносне видовження для LDPE знижується на 11%, а кондиціонованого – аж на 50%, що пов'язано з утворенням мікропор внаслідок виділення вологи в процесі формування плівки. Для LLDPE при 40% наповненні спостерігається зниження відносного видовження лише на 11 та 13% відповідно.

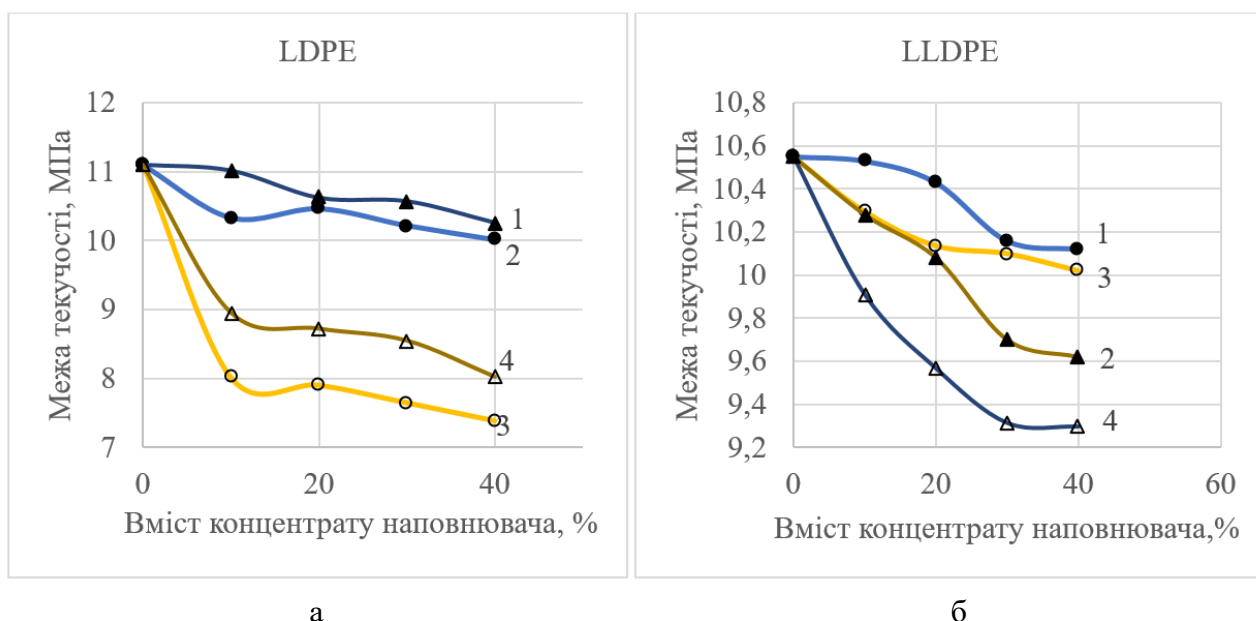
Основою для концентрату наповнювача виготовленого на вторинному поліетилені є відходи стрейч плівки, що виготовлена з LLDPE та містить у своєму складі співполімери етилену та пропілену або поліізобутилен в кількості до 10% мас. Наявність цих співполімерів покращує відносне видовження стрейч плівки порівняно з вихідним LLDPE [11].

Застосування концентрату наповнювача, виготовленого на основі вторинного поліетилену для наповнення LLDPE призводить до зниження відносного видовження отриманих плівок лише на 6% у випадку попереднього висушування суперконцентрату, на 13% – для кондиціонованого. Така незначна зміна властивостей плівок пов'язана з наявністю співполімерів у вторинній сировині.



Легенда: 1 – висушений концентрат наповнювача на первинній сировині; 2 – висушений концентрат наповнювача на вторинній сировині; 3 – кондиціонований концентрат наповнювача на первинній сировині; 4 – кондиціонований концентрат наповнювача на вторинній сировині.

Рис. 2. Залежність міцності при розриві від вмісту наповнювача для LDPE (а) та LLDPE (б)



Легенда: 1 – висушений концентрат наповнювача на первинній сировині; 2 – висушений концентрат наповнювача на вторинній сировині; 3 – кондиціонований концентрат наповнювача на первинній сировині; 4 – кондиціонований концентрат наповнювача на вторинній сировині.

Рис. 3. Залежність межі текучості при розтязі від вмісту наповнювача для LDPE (а) та LLDPE (б)

Введення наповнювача зумовлює зниження міцності при розриві дослідних зразків. Для LLDPE зниження міцності при розриві, при 40% наповненні, в два рази менше порівняно з LDPE. Застосування попередньо висушеного концентрату наповнювача на вторинному поліетилені для LLDPE приводить до зниження міцності при розриві лише на 6% при 40%

наповненні. Таким чином, попереднє висушування концентрату наповнювача забезпечує отримання плівок зі значним вмістом наповнювача та високими міцнісними показниками навіть при застосуванні вторинної полімерної основи.

Межа текучості є найбільш впливовим показником при оцінці експлуатаційних характеристик плівок. Для LLDPE зниження межі текучості при 40% наповненні в два рази нижче, порівняно з LDPE. Застосування попередньо висушеного концентрату наповнювача забезпечує незначне зниження механічних властивостей плівок, внаслідок формування бездефектної структури плівки.

Для композицій з високим вмістом наповнювача вплив вологості на механічні властивості є більш вагомим. І переробку композицій потрібно здійснювати з обов'язковим попереднім висушуванням концентрату наповнювача. Густина композицій підвищується закономірно зі збільшення вмісту наповнювача (табл. 1). У випадку використання кондиціонованого концентрату наповнювача значення густини дещо нижчі через дефектність структури плівок, викликану випаровуванням надлишкової вологи.

Таблиця 1

Густина досліджуваних композицій

№ п/п	Вміст концентрату наповнювача, % мас.	Густина, кг/м ³ */**			
		Кондиціонований концентрат наповнювача		Висушений концентрат наповнювача	
		LDPE	LLDPE	LDPE	LLDPE
1	0	919	923	919	923
2	10	998/1002	1008/1007	1012/1013	1021/1023
3	20	1051/1058	1059/1061	1084/1084	1102/1109
4	30	1258/1259	1274/1274	1293/1295	1289/1288
5	40	1386 /1376	1398/1402	1396/1398	1405/1407

* концентрат наповнювача на первинному ПЕ.

** концентрат наповнювача на вторинному ПЕ.

Отже, створення високонаповнених композитів на основі поліолефінів дозволяє ефективно знизити споживання полімерної складової, що є позитивним аспектом з екологічної точки зору. Попереднє висушування концентрату наповнювача дозволяє отримувати плівкові матеріали з бездефектною структурою та задовільними механічними властивостями. Використання концентрату наповнювача на основі вторинної сировини забезпечує незначне зниження механічних властивостей плівок навіть при 40% наповненні за рахунок наявності у вторинній сировині добавок співполімерів етилену та пропілену.

Висновки. Проведені дослідження були спрямовані на оцінку можливості зменшення застосування синтетичних полімерів шляхом створення високонаповнених полімерних композитів на основі поліолефінів в рамках вирішення глобальної проблеми накопичення та утилізації полімерних відходів. В ході аналізу отриманих експериментальних даних було встановлено, що застосування мінерального наповнювача – природнього карбонату кальцію марки Omya Carb 2T у вигляді концентрату в кількості до 40% мас. дозволяє ефективно знизити споживання синтетичних полімерів. Застосування наповнювача у вигляді концентрату на основі вторинного поліетилену дозволяє отримувати полімерні високонаповнені плівки на основі лінійного поліетилену, що характеризуються зниженням відносного видовження лише на 13%, а у випадку попереднього висушування концентрату наповнювача – на 6%. Попереднє висушування концентрату наповнювача забезпечує формування бездефектної структури в процесі отримання плівкових матеріалів. Отримані високонаповнені полімерні плівки на основі поліолефінів володіють задовільними

механічними властивостями та можуть застосовуватись для виготовлення полімерної упаковки.

References

Література

1. Plavan, V. P., Savchenko, B. M., Denysiuk, V. (2021). Pererobka polimernykh vidkhodiv: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku [Polymer waste processing: current state and development prospects]. *VIII-yi MIZhNARODNYI ZIZD EKOLOHIV (Ekolohiia/Ecology-2021) = VIII INTERNATIONAL CONGRESS OF ECOLOGISTS 2021: collection of scientific papers*. Vinnytsia: VNTU. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/ecology/ecology2021/paper/viewFile/13658/11491> [in Ukrainian].
1. Плаван В. П., Савченко Б. М., Денисюк В. Переробка полімерних відходів: сучасний стан та перспективи розвитку. *VIII-ий МІЖНАРОДНИЙ З'ЇЗД ЕКОЛОГІВ (Екологія/Ecology-2021): збірник наукових праць*. Вінниця: ВНТУ, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/ecology/ecology2021/paper/viewFile/13658/11491>.
2. Sova, N. V., Savchenko, B. M., Plavan, V. P., Biloshenko, V. O. (2017). Sposoby stvorennia ekolohichno bezpechnoi polimernoї upakovky v Ukraini [Methods of creating environmentally safe polymer packaging in Ukraine]. *Upakovka = Packaging*, 5: 31–34 [in Ukrainian].
2. Сова Н. В., Савченко Б. М., Плаван В. П., Білошенко В. О. Способи створення екологічнобезпечної полімерної упаковки в Україні. *Упаковка*. 2017. № 5. С. 31–34.
3. Iskandarov, R. Sh., Slietsov, O. O., Pushkarov, D. V., Osaulenko, S. I. (2022). Vysokonapovneni kompozyty v tekhnolohiiakh polimernoho pakuvannia [Highly filled composites in polymer packaging technologies]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, 3 (8): 26–36. DOI:10.30857/2786-5371.2022.3.3 [in Ukrainian].
3. Искандаров Р. Ш., Слепцов О. О., Пушкаръов Д. В., Осауленко С. І. Високонापвнені композити в технологіях полімерного пакування. *Технології та інжиніринг*. 2022. № 3 (8). С. 26–36. DOI:10.30857/2786-5371.2022.3.3.
4. Saitarly, S., Dzubenko, L., Plavan, V. et al. (2022). Influence of Filler on the Structure, Thermal Stability, and Mechanical Properties of Compositions Based on a Modified Polypropylene. *Mech Compos Mater.*, 58: 227–236. <https://doi.org/10.1007/s11029-022-10023-4>.
4. Saitarly S., Dzubenko L., Plavan V. et al. Influence of Filler on the Structure, Thermal Stability, and Mechanical Properties of Compositions Based on a Modified Polypropylene. *Mech Compos Mater*. 2022. 58. P. 227–236. <https://doi.org/10.1007/s11029-022-10023-4>.
5. Maiti, S. N., Mahapatro, P. K. (1991). Mechanical properties of i-PP/CaCO₃ composites. *J. Appl. Polym. Sci.*, 42: 3101–3110. <https://doi.org/10.1002/app.1991.070421204>.
5. Maiti S. N., Mahapatro P. K. Mechanical properties of i-PP/CaCO₃ composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 1991. 42. P. 3101–3110. <https://doi.org/10.1002/app.1991.070421204>.
6. Zoltán Demjén, Béla Pukánszky, József Nagy (1998). Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated CaCO₃ composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29(3): 323–329. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(97\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(97)00032-8).
6. Zoltán Demjén, Béla Pukánszky, József Nagy. Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated CaCO₃ composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1998. Vol. 29, Iss. 3. P. 323–329. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(97\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(97)00032-8).
7. Lapčík, L., Mañas, D., Vašina, M., Lapčíková, B., Řezníček, M., Zádrapa, P. (2017). High density poly(ethylene)/CaCO₃ hollow spheres composites for technical applications. *Composites Part B: Engineering*, 113: 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.025>.
7. Lapčík L., Mañas D., Vašina M., Lapčíková B., Řezníček M., Zádrapa P. High density poly(ethylene)/CaCO₃ hollow spheres composites for technical applications. *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 113. P. 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.025>.
8. Fu, Q., Wang, G. (1992). Polyethylene toughened by rigid inorganic particles. *Polym Eng Sci*, 32: 94–97. <https://doi.org/10.1002/pen.760320204>.
8. Fu Q., Wang G. Polyethylene toughened by rigid inorganic particles. *Polym Eng Sci*. 1992. 32. P. 94–97. <https://doi.org/10.1002/pen.760320204>.

9. Rabeh H. Elleithy, Ilias Ali, Muhammad Alhaj Ali, Al-Zahrani, S. M. (2010). High Density Polyethylene/Micro Calcium Carbonate Composites: A Study of the Morphological, Thermal, and Viscoelastic Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 119: 2494–2494. <https://doi.org/10.1002/app.32142>.

10. Hua Zhou, Liangdong Ye, Shanrong Li, Ziwei Li, Zhouqiao Wei, Zhiyi Huang, Shaorong Lu, Dongming Chen, Zuocai Zhang, Yuqi Lie (2022). Bio-based compatibilizer (ESO-g-S-HPG) to improve the compatibility and mechanical properties of CaCO₃/HDPE composites. *Composites Science and Technology*, 219: 109251. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.109251>.

11. Saitarly, S., Plavan, V., Rezanova, N., Sova, N. (2018). Regulation of rheological and mechanical properties of polypropylene compositions for automotive parts. *Technology audit and production reserves*, 6(3(44)): 9–13.

9. Rabeh H. Elleithy, Ilias Ali, Muhammad Alhaj Ali, Al-Zahrani S. M. High Density Polyethylene/Micro Calcium Carbonate Composites: A Study of the Morphological, Thermal, and Viscoelastic Properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2010. Vol. 119. P. 2494–2494. <https://doi.org/10.1002/app.32142>.

10. Hua Zhou, Liangdong Ye, Shanrong Li, Ziwei Li, Zhouqiao Wei, Zhiyi Huang, Shaorong Lu, Dongming Chen, Zuocai Zhang, Yuqi Lie. Bio-based compatibilizer (ESO-g-S-HPG) to improve the compatibility and mechanical properties of CaCO₃/HDPE composites. *Composites Science and Technology*. 2022. Vol. 219. P. 109251. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.109251>.

11. Saitarly S., Plavan V., Rezanova N., Sova N. Regulation of rheological and mechanical properties of polypropylene compositions for automotive parts. *Technology audit and production reserves*. 2018. 6(3(44)). P. 9–13.

SAVCHENKO BOHDAN

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8636-5734>
Scopus Author ID: 56685269800
E-mail: 1079@ukr.net

NOVYTSKYI STANISLAV

Student of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: djanc@ukr.net

SOVA NADIYA

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3550-6135>
Scopus Author ID: 56685569600
E-mail: djanc@ukr.net

ROZVORA LIUBOMYR

Postgraduate student of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: djanc@ukr.net

SAVCHENKO B. M., SOVA N. V., NOVYTSKY S. S., ROZVORA L. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF HIGHLY FILLED FILM MATERIALS BASED ON POLYOLEFINS

Purpose. Determination of the influence of the content of the filler concentrate, its moisture content and the nature of the polymer base on the properties of blown films based on various types of polyethylene.

Methodology. The mechanical properties of the test samples – tensile yield strength, strength and relative elongation at break – were determined using a P5 laboratory tearing machine according to ISO 527-2:2012. The density of film samples was determined by hydrostatic weighing using Radwag AS2 analytical weights.

Findings. The influence of filler content in the form of concentrates based on primary and secondary polyethylene on the physical and mechanical properties of blown films based on LDPE and LLDPE was studied. Introduction of up to mass 20% of the conditioned concentrate of the filler in virgin polyethylene leads

to a decrease in tensile strength by 17% for LDPE and 13% for LLDPE, respectively, and when using a conditioned concentrate based on recycled polyethylene – by 11% and 5%, respectively. In case of introduction of 40% filler the tensile strength of the conditioned filler concentrate is reduced by 30% for LDPE, and by 20% for LLDPE. The introduction of the filler, carried out with the help of a concentrate on virgin and recycled raw materials, did not reveal a significant difference in the set of mechanical characteristics, which allows the use of recycled polyethylene as a basis for obtaining filler concentrates.

The influence of the equilibrium moisture content of the filler concentrate on the properties of film materials was investigated. With the introduction of 40% filler concentrate based on recycled polyethylene with an equilibrium moisture content of 0.12% in LDPE, the value of relative elongation decreases by 52%, and in the case of a dried concentrate with a moisture content of 0.05% – only by 22%.

Originality. The influence of the filler content based on recycled polyethylene on the properties of film materials was established.

Practical value. The possibility of application of recycled raw materials to create filler concentrates in the production of highly filled packaging films is shown.

Keywords: polyolefins; mineral filler; highly filled film materials; mechanical properties; blown films.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування	КРИВОНОС Олена
Технічний редактор	ПАНАСЮК Ігор
Відповідальний за поліграфічне виконання	ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 30.11.2022. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 13,02. Облік. вид. арк. 10,18. Наклад 100 пр. Зам. 1841.

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

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 993 від 24.07.2002.

TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Computer Typesetting & Modeling	KRYVONOS Olena
Technical Editor	PANASIUK Ihor
Responsible for printing	OVECHKINA Liliia

Printing proof 30.11.2022. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 13.02. Calculated sheet 10.18. Circulation 100 copies. Order N 1841.

KNUTD Instant Printing Department.
Nemirovich-Danchenko Street, 2, Kyiv, 01011, Ukraine.

Certificate KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021 р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.