

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА  
ІНЖИНІРИНГ**

**№ 5(16), 2023**

DOI:10.30857/2786-5371.2023.5

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

*Київ 2023*

**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).

**№ 5(16), 2023**

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. Мала Шияновська, 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. Мала Шияновська, 2, корп. 1, к. 1-347

тел./факс: +38 (044) 256-21-39

e-mail: [vistnuk@knu.edu.ua](mailto:vistnuk@knu.edu.ua); <http://vistnyk.knu.edu.ua/>

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 3 від 18.10.2023 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 5(16), 2023**

**DOI:10.30857/2786-5371.2023.5**

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

*Kyiv 2023*

**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).

*№ 5(16), 2023*

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, Mala Shyianovska 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, Mala Shyianovska Str., office 1-347

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

e-mail: [vistnuk@knuvd.edu.ua](mailto: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 18.10.2023.**

---

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.

**Стаценко** Володимир Володимирович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*. ORCID: 0000-0002-3932-792X.

**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.

**Оспенко** Володимир Васильович – доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна, ORCID: 0000-0002-1077-1461.

**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.

**Andrzej Borusiewicz** – D.Sc., Associate Professor, International University of Applied Sciences in Lomza, Poland, ORCID: 0000-0002-1407-7530.

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

**Juraj Gerlici** – Prof., Dr. Ing., University of Žilina, Slovak Republic. ORCID: 0000-0003-3928-0567

**Kateryna Kravchenko** – PhD, University of Žilina, Slovak Republic. ORCID: 0000-0002-3775-6288

**Kay Berkling** – Prof. Ph.D., Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Karlsruhe. Germany. ORCID: 0000-0003-1186-5678

**Mirosław Skibniewski** – 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.

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

**Галавська** Людмила Євгенівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, 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, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID 0000-0003-1049-8255.

**Гараніна** Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-4715-3851.

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

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

**Первая** Наталія Володимирівна, доктор технічних наук, професор Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-5086-3926

**Редько** Яна Володимирівна, доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-7284-6898

**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.

## СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Плаван** Вікторія Петрівна – доктор хімічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0001-9559-8962.

**Мокроусова** Олена Романівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0003-1943-8048.

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

**Бессарабов** Володимир Іванович, доктор технічних наук, професор, 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.

**Галстян** Андрій Генрійович, доктор хімічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8475-8166

**Іщенко** Олена Володимирівна, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9510-6005

**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.

**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.

**Хоменко** Володимир Григорович – доктор технічних наук, доцент, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-0013-8010.

**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. **ДЕНІСОВ Р. В., ПОПОВИЧ П. В.**  
ОСОБЛИВОСТІ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ТА ГРУПУВАННЯ ТРЕНУВАЛЬНИХ ДАННИХ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ MOBILENETV2 9
2. **МАНОЙЛЕНКО О. П., ГОРОБЕЦЬ В. А., КНЯЗЄВ І. М., ШКВИРА В. В.**  
РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЇ МЕХАНІЗМІВ ПОДАЧІ ПЕТЕЛЬНИКОВОЇ НИТКИ ШВЕЙНИХ МАШИН ЛАНЦЮГОВОГО СТІБКА НА ОСНОВІ АНАЛІЗА ЇХ СТРУКТУРИ 21
3. **ПОЛЩУК А. О.**  
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ШНЕКОВОГО ЕКСТРУДЕРА 3D-ПРИНТЕРА, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ ГРАНУЛИ АБО ПОДРІБНЕНІ ЧАСТКИ ПОЛІМЕРУ В ЯКОСТІ ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ 33
4. **СКІДАН В. В., НІКОНОВ О. Я., ВОЛІВАЧ А. П., ПАВЛЕНКО В. М.**  
ДОСЛІДЖЕННЯ ХМАРНИХ МІКРОСЕРВІСІВ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ASP.NET CORE 50
5. **ШАВЬОЛКІН О. О., ПІДГАЙНИЙ М. О.**  
ВИКОРИСТАННЯ БОЙЛЕРУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ПРИВАТНОЇ ОСЕЛІ З ГІБРИДНОЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ СИСТЕМОЮ 60
- МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ  
ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**
6. **ДМИТРИК О. М., ГАЛАВСЬКА Л. Є.**  
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ОДЕРЖАННЯ ТРИКОТАЖУ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК НА ФОРМУ ПЕТЕЛЬ ТА ПАРАМЕТРИ ЙОГО СТРУКТУРИ 76
7. **РОЇК О. М., КЛЮЙ О. С., ГОРБИК А. Ю.**  
ДОСЛІДЖЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ПРОТИГРИБКОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ МІСЦЕВОГО ЗАСТОСУВАННЯ НА ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ РИНКУ УКРАЇНИ 86
- ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**
8. **ЩЕНКО О. В., ПЛАВАН В. П., ШИДЛОВСЬКА О. А., ХАРЧЕНКО Є.**  
ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИБАКТЕРІАЛЬНОГО ЕФЕКТУ НАНОНАПОВНЕНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ 96
9. **ПЛАВАН В. П., ЩЕНКО О. В., ТИТАРЕНКО С.,  
СІДЕЛЬНИКОВ Я., ТАРАСЕНКО Н. В.**  
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВОЛОКНИСТИХ ОСНОВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ СОРБЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ 104
10. **СВІСТІЛЬНИК Р. Ф., ФЕДОРІВ Т. Р.**  
ВПЛИВ ПОЛІМЕРНИХ МАТРИЦЬ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ 115
11. **ТАРАСЕНКО Г. В., ЗМІЄВСЬКА І. С., САЛІЙ О. О., ПОПОВА М. Е.**  
АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ 123

## TABLE OF CONTENTS

### INFORMATION TECHNOLOGIES, ELECTRONICS, MECHANICAL AND ELECTRICAL ENGINEERING

1. **DENISOV R. V., POPOVYCH P. V.**  
FEATURES OF NEURAL NETWORK PRE-PROCESSING AND GROUPING OF  
TRAINING DATA TO IMPROVE ACCURACY OF OBJECT RECOGNITION  
BASED ON MOBILENETV2 9
2. **MANOILENKO O. P., HOROBETS V. A., KNIAZIEV I. M., SHKVYRA V. V.**  
DEVELOPMENT OF CLASSIFICATION OF LOOP THREAD TAKE-UP  
MECHANISMS FOR CHAIN STITCH SEWING MACHINES BASED ON THEIR  
STRUCTURAL ANALYSIS 21
3. **POLISHCHUK A. O.**  
DEVELOPMENT OF A 3D PRINTER SCREW EXTRUDER THAT USES  
GRANULES OR CRUSHED POLYMER PARTICLES AS RAW MATERIALS 33
4. **SKIDAN V. V., NIKONOV O. J., VOLIVACH A. P., PAVLENKO V. M.**  
RESEARCH OF CLOUD MICROSERVICES BASED ON ASP.NET CORE  
TECHNOLOGY 50
5. **SHAVOLKIN O. O., PIDHAINYI M. O.**  
USE OF AN ELECTRIC BOILER IN THE POWER SUPPLY SYSTEM TO  
PROVIDE THE SELF-CONSUMPTION OF THE REZIDENTIAL HOUSE WITH A  
HYBRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM 60

### MATERIAL SCIENCE IN THE TEXTILE, CLOTHING AND FOOTWEAR MANUFACTURING INDUSTRIES

6. **DMYTRYK O. M, HALAVSKA L. Ye.**  
INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF PRODUCING KNITWEAR  
FROM HIGH-STRENGTH THREADS ON THE LOOPS FORM AND  
STRUCTURAL PARAMETERS 76
7. **ROIK O. M., KLIUI O. S., GORBYK A. Ya.**  
STUDY OF THE RANGE OF ANTIFUNGAL DRUGS FOR TOPICAL USE IN  
THE PHARMACEUTICAL MARKET OF UKRAINE 86

### CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

8. **ISHCHENKO O. V., PLAVAN V. P.,  
SHYDLOVSKA O. A., KHARCHENKO Ye.**  
RESEARCH OF THE ANTIBACTERIAL EFFECT OF NANO-FILLED POLYMER  
MATERIALS 96
9. **PLAVAN V. P., ISHCHENKO O. V., TITARENKO S.,  
SYDELNIKOV Ya., TARASENKO N. V.**  
COMPARATIVE ASSESSMENT OF FIBER BASES FOR THE MANUFACTURE  
OF COMPOSITE MATERIALS WITH SORPTION PROPERTIES 104
10. **SVISTSILNIK R. F., FEDORIV T. R.**  
INFLUENCE OF POLYMER MATRICES ON THE ELECTRICAL PROPERTIES  
OF COMPOSITE COATINGS 115
11. **TARASENKO H. V., ZMIEVSKA I. S., SALIY O. O., POPOVA M. E.**  
ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES OF PRODUCTION OF  
MEDICINAL PRODUCTS 123

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.1>

УДК 621.382

ДЕНІСОВ Р. В., ПОПОВИЧ П. В.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Київ, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ТА ГРУПУВАННЯ ТРЕНУВАЛЬНИХ ДАНИХ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ MOBILENETV2

**Мета.** Дослідження можливостей підвищення точності та варіативності розпізнавання різних груп об'єктів зі схожою надлишковою інформацією нейронною мережею, після попередньої обробки та групування тренувальних зображень для подальшого використання на мікроконтролерах. Перевірено вплив видалення зайвої інформації у тренувальних даних на практичні значення точності розпізнавання різних категорій об'єктів на основі архітектури MobileNet V2.

**Методика.** Створення різних груп тренувальних зображень з використанням програмної платформи Edge Impulse. Обробка зображень методом видалення зайвих об'єктів у графічному редакторі Adobe Photoshop. Перевірка точності розпізнавання необробленої, обробленої та змішаної груп тренувальних зображень.

**Результати.** На базі програмної платформи Edge Impulse створено декілька груп тренувальних зображень. У частині зображень за допомогою графічного редактора Adobe Photoshop видалено усі зайві елементи. Встановлено, що при наявності схожої зайвої інформації на тренувальних даних, у різних категоріях об'єктів, у результаті розпізнавання виникають нерозпізнані та помилково розпізнані тестові зображення. Експериментально отримано, що метод видалення зайвої інформації з тренувальних зображень дає більш чіткий розподіл ознак, а поєднання необроблених та оброблених тренувальних даних дають середній приріст у точності розпізнавання більше ніж 10% для кожної категорії, а також суттєве зменшення нерозпізнаних та невірно розпізнаних тестових зображень, при тій самій кількості тренувальних даних.

**Наукова новизна.** Отримано комбінований метод обробки та групування тренувальних даних, що підвищує точність розпізнавання об'єктів без збільшення кількості тренувальних даних. Досліджено вплив схожої надлишкової інформації у різних категоріях об'єктів на точність розпізнавання.

**Практична значимість.** Отримані результати дозволяють здійснити підвищення точності розпізнавання різних груп об'єктів зі схожою надлишковою інформацією однією нейронною мережею без підвищення кількості тренувальних зображень.

**Ключові слова:** попередня обробка зображень; мікроконтролери; розпізнавання зображень; згорткові нейронні мережі; Edge Impulse; MobileNetV2.

**Вступ.** В наші дні розробка та впровадження нейронних мереж стали актуальними завданнями у багатьох сферах життя. Однак точність розпізнавання об'єктів за допомогою згорткових нейронних мереж залишається однією з ключових проблем, особливо коли мова йде про роботу з обмеженими ресурсами, такими як мікроконтролери. Особливо сильно точність розпізнавання втрачається у нейронних мережах, де різні категорії мають схожу надлишкову інформацію на тренувальних зображеннях, наприклад, небо. Існують різні методики підвищення точності розпізнавання, такі як розширення даних (Data Augmentation), балансування класів (Class Balancing), видалення аномалій (Outlier Removal), а також метод підвищення кількості даних. Кожна методика має різні значення результативності та вплив на обсяг необхідної пам'яті. Так було досліджено вплив поступового розширення кількості тренувальних даних для відслідковування приросту точності [1, 2]. Отримано, що зі збільшенням тренувальних даних є великий приріст у точності. При цьому, існує граничне значення для кожної мережі окремо, коли кількість тренувальних даних перестає давати

приріст точності розпізнавання. Встановлено, що навіть при зменшені набору тренувальних даних, можна отримати вірогідність розпізнавання конкретної моделі 90%. У роботі з дослідження впливу розміру набору даних на ефективність класифікації було встановлено, що загальна продуктивність класифікаторів більше залежить від того, наскільки набір тренувальних даних відповідає кінцевій меті розпізнавання, а не від кількості тренувальних зображень [3].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є аналіз впливу попередньої обробки тренувальних зображень методом видалення зайвої інформації у Adobe Photoshop та змішування оброблених та необроблених тренувальних даних на точність розпізнавання різних груп об'єктів (зі схожою надлишковою інформацією) однією нейронною мережею при невеликій кількості тренувальних даних.

Для здійснення аналізу необхідно:

- На базі програмної платформи Edge Impulse створити нейронну мережу, що буде розпізнавати такі категорії як "windows", "doors", "trees", "traffic lights", "crosswalk" та оцінити точність розпізнавання обраних категорій зображення на основі архітектури MobileNet V2.
- Виконати обробку частини тренувальних зображень методом видалення зайвих об'єктів. Змішати оброблені зображення з необробленими зображення та проаналізувати приріст точності розпізнавання.

**Результати попередніх досліджень.** Однією з головних тенденцій розвитку архітектур згорткових нейронних мереж є те, що мережі стають дедалі глибшими, а точність розпізнавання вищою. Однак, збільшення глибини нейронної мережі вимагає більших обчислювальних ресурсів для тренування та подальшого розгортання мережі, а також великої кількості якісних тренувальних даних. Враховуючи попит використання нейронних мереж на приладах з обмеженими ресурсами, такими як мікроконтролер, виникає потреба у зменшенні розміру мережі та набору даних.

Попередня обробка тренувальних даних – один з основних методів підвищення точності нейронних мереж для пристроїв з обмеженими ресурсами. У роботі з дослідження впливу попередньої обробки даних на класифікацію пухлин головного мозку за допомогою capsuleNet було встановлено, що при використанні необроблених даних точність класифікації становила 87% [4]. Після виконання попередньої обробки даних, а саме повороту та масштабування зображень, точність класифікації пухлин становила 92,6%.

У роботі з порівняння методів доповнення та методу попередньої обробки тренувальних даних для глибокого навчання та хемометричної класифікації інфрачервоних спектрів було встановлено, що поєднання методів попередньої обробки та методу доповнення можуть покращити точність розпізнавання на 10% при невеликому наборі даних, що складається з 80 зображень [5].

Дослідження доводять, що поєднання різних методів попередньої обробки даних та розширення бази даних дає більший приріст точності розпізнавання у порівнянні з використанням кожного методу окремо [6].

Надлишкові дані і неточності в тренувальних зображеннях можуть призвести як до підвищення точності розпізнавання, так і до зниження [7]. Некоректні тренувальні дані можуть суттєво знижувати точність розпізнавання об'єктів. У дослідженні впливу балансу білого на точність розпізнавання об'єктів встановлено, що при використанні попередньо нормалізованих за балансом білого тренувальних зображень підвищуються точність створення класифікаторів, і як наслідок, підвищується точність розпізнавання об'єктів [8].

Враховуючи, що використання нейронних мереж набуває з кожним роком все більшого поширення, компанією Google розроблено клас високоефективних нейронних мереж MobileNets [9]. Засновані на спрощеній архітектурі мережі MobileNets використовують

згортку за глибиною, а також гіперпараметри для стиснення глибокої нейронної мережі до меншого розміру, що при цьому дозволяє отримувати досить високі результати розпізнавання [10, 11].

Таким чином, поєднання різних методів попередньої обробки тренувальних даних разом з методом розширення даних дає можливість отримати максимальний приріст точності розпізнавання навіть у випадку невеликого набору тренувальних даних. А використання архітектури MobileNetV2 дає можливість розгортати отримані нейронні мережі на пристроях з обмеженими ресурсами, такими як мікроконтролер.

Далі наведено опис, умови проведення експерименту та власне його результати.

**Основні методи попередньої обробки тренувальних даних.** Розширення даних (Data Augmentation). Метод розширення даних, такий як обертання, обрізка, зміна масштабу, додавання шуму та інші операції, допомагає моделям стати більш стійкими до різних варіацій вхідних даних. Наприклад, обертуючи та віддзеркалюючи зображення, можна покращити роботу моделі для об'єктів з різних ракурсів [12].

Проте, як вказано у роботі з дослідження надлишковості вибірки тренувальних даних, враховуючи наявні дані та методи, надлишкова вибірка в її поточних формах і методологіях є ненадійною для навчання на незбалансованих класах даних і її слід уникати в реальних програмах [13].

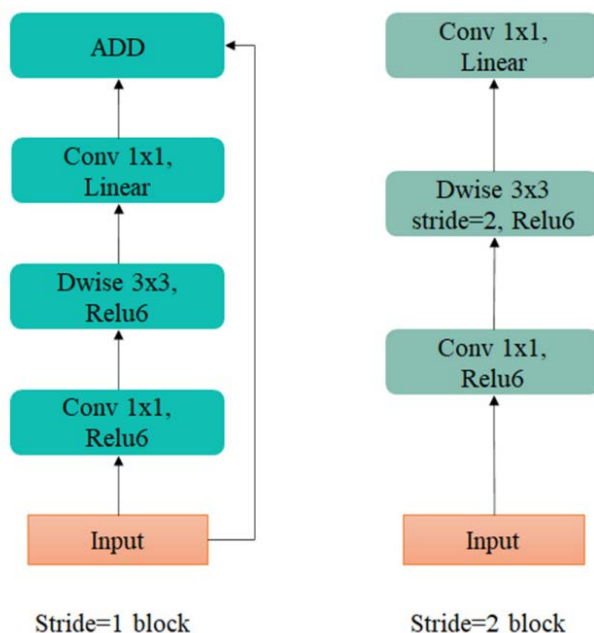
Видалення аномалій (Outlier Removal). Видалення аномальних або невідповідних даних з тренувального набору може покращити стабільність та точність моделі. Наявність невідповідних елементів у даних може значно знизити точність моделі або, ще гірше, призвести до упередженості моделі, що призведе до неточної класифікації. Таким чином, виявлення зайвих елементів і їх усунення має вирішальне значення для створення якісних навчальних наборів даних [14].

Отже, комбінуючи різні методи попередньої обробки тренувальних даних, можна отримати суттєвий приріст точності розпізнавання об'єктів.

**Особливості архітектури MobileNet V2.** Модель MobileNetV2 базується на попередній версії MobileNetV1, головна відмінність MobileNetV2 полягає у додаванні нового шару – інвертованого залишкового блоку із лінійними вузькими місцями (bottleneck layers), які зменшують розмір вхідних даних. Згортки, що розділяються за глибиною, які використовують в MobileNetV1, також застосовують в MobileNetV2. У поєднанні з поглибленою згорткою та поточною згорткою, загальну кількість параметрів і обчислювальну вартість моделі можна зменшити приблизно до 18 у порівнянні зі звичайною згорткою. Модель спочатку розширює низьковимірне стиснене представлення вхідних даних до високорозмірного та фільтрує його за допомогою згортки за глибиною. Згодом об'єкти проєктують назад до низьковимірною представлення з лінійною згорткою. Така структура в моделі може зберігати інформацію, вирішувати проблему негнучкої кількості фільтрів у MobileNetV1 і одночасно підтримувати легкість блоку [15]. На рис. 1 показано згортковий блок MobileNetV2.

До основних переваг MobileNetV2 можна віднести високу точність розпізнавання під час стиснення мережі для застосування на пристроях з обмеженими ресурсами, такими як мікроконтролери, а також можливість реалізації за допомогою стандартних операцій у сучасних фреймворках.

**Експериментальна оцінка точності розпізнавання попередньо необроблених та змішаних тренувальних даних.** Для оцінки впливу попередньої обробки тренувальних даних методом видалення зайвих об'єктів у Adobe Photoshop на точність розпізнавання об'єктів проведено ряд експериментів на основі програмної платформи Edge Impulse [16].



Джерело: [15].

Рис. 1. Згортковий блок MobileNetV2

Edge Impulse – це інструмент, призначений для інженерів та дослідників, які працюють з нейронними мережами для розпізнавання різних видів даних, включаючи зображення, звукові сигнали, дані датчиків та інші електричні сигнали. Він спрямований на створення моделей для використання у вбудованих системах та спеціалізованих пристроях. Edge Impulse використовує фреймворк Keras, який є високорівневим інтерфейсом програмування (API) для платформи машинного навчання TensorFlow, розробленою компанією Google. Програмна бібліотека з відкритим кодом та набором функцій для машинного навчання на основі нейронних мереж глибокого навчання TensorFlow містить бібліотеку моделей MobileNet. Edge Impulse надає можливість вибрати одну з декількох наявних моделей MobileNet з подальшим налаштуванням гіперпараметрів, таких як розмір зображення та коефіцієнт стиснення мережі. Після тренування мережі є можливість вибрати необхідну платформу розробки і завантажити отриману мережу у пам'ять мікроконтролера. Edge Impulse також надає можливість отримувати тестові чи тренувальні дані за допомогою сторонніх пристроїв, наприклад, телефону чи мікроконтролера з камерою, підключених до проекту.

Adobe Photoshop – це потужний графічний редактор, який використовують для обробки та редагування зображень і графіки. Це програмне забезпечення має широкий спектр функцій та можливостей, серед найважливіших можна виділити такі:

1. Редагування та обробка зображень: Adobe Photoshop надає інструменти для виконання різних операцій із зображеннями, таких як обрізання, корекція кольорів, ретушування, видалення об'єктів, зміна розміру і форми, застосування фільтрів тощо.

2. Можливість роботи з шарами та редагувати їх окремо, що дозволяє створювати складні композиції, а також має різноманітні інструменти для роботи з текстом.

3. Photoshop підтримує роботу з RAW-файлами, що дозволяє обробляти зображення в їх природному форматі з більшою глибиною кольору і контролем над експозицією.

Для проведення експериментів створено 5 груп тренувальних даних із назвами "windows", "door", "trees", "traffic lights", "crosswalk" для 5 категорій об'єктів відповідно. Набір категорій обрано таким чином, щоб у майбутньому отриману нейронну мережу можна було

застосовувати для орієнтації у просторі людей з частковою або повною втратою зору. Кожна група містить по 30 тренувальних необроблених зображень.

Після створення груп обрано колірний простір RGB, сформовано характерні ознаки для кожної категорії та виконано навчання нейронної мережі.

Для проведення експериментів обрано модель нейронної мережі MobileNetV2 з розміром вхідного зображення 96\*96 пікселів і коефіцієнтом стиснення мережі 0,35. Дана модель має високі показники точності розпізнавання, а коефіцієнт стиснення 0,35 забезпечує оптимальні параметри розміру мережі для подальшого застосування на мікроконтролерах.

Результатом розпізнавання є імовірність визначення приналежності об'єкта на зображенні до груп, які було використано для тренування моделі, де сумарна імовірність приналежності до обох груп дорівнює 1 і розподіляється між ними пропорційно до результатів розпізнавання.

Метою першого експерименту є перевірка точності розпізнавання кожної категорії об'єктів на 30 тестових зображеннях. Половина тестових зображень було взято з відкритих ресурсів, 15 тестових зображень було отримано за допомогою фотографування реальних об'єктів за допомогою смартфона.

У другому експерименті досліджено вплив попередньої обробки тренувальних даних, а саме видалення сторонніх об'єктів у редакторі Adobe Photoshop, на точність розпізнавання об'єктів. Після видалення у половині тренувальних зображень зайвих елементів було змішано один до одного необроблені і оброблені зображення, виконано перенавчання нейронної мережі і перевірено точність розпізнавання об'єктів на тих самих тестових зображеннях.

**Аналіз результатів експерименту.** В даному розділі наведено результати проведених експериментів. Точність розпізнавання визначалася на основі імовірності приналежності зображення групам "windows", "doors", "trees", "traffic lights", "crosswalk". Тобто, якщо імовірність того, що зображення належить до однієї з категорій перевищувала 0,5, то результат вважався позитивним. Середнє значення ймовірності обчислювалось на основі 30 тестувань для кожної категорії зображень.

Після створення груп тренувальних зображень на базі програмної платформи Edge Impulse отримано розподіл ознак для кожної категорії об'єктів.

Ознаки зображення в нейронних мережах – це абстрактні представлення ключових характеристик або властивостей зображення, які використовуються для його аналізу та розпізнавання. Ознаки виникають під час проходження зображення через різні шари нейронної мережі і є числовими або векторними значеннями, які відображають важливі деталі та структуру зображення. Ознаки зображення можуть містити такі характеристики: контур та форма, кольори і текстури, локальні особливості об'єктів, глибини і рельєфи а також абстрактні ознаки.

Графічне відображення отриманих ознак – це візуалізація виділення ознак з кожного зображення кожної групи тренувальних даних. Різні групи об'єктів зображень мають свої характерні ознаки, що надалі будуть використані для навчання мережі. Якщо після генерації ознак візуальний розподіл ознак різних груп не має чіткого поділу, це означає, що у тренувальних даних різних категорій зображень є велика кількість схожої інформації.

Проаналізувавши графічне відображення отриманого розподілу, можна зробити висновок, що надлишкова інформація на тренувальних зображеннях, яка має схожий характер, наприклад, небо, може створювати помилки у розрізненні ознак категорій. Розподіл ознак зображено на рис. 2.

Після навчання нейронної мережі перевірено точність розпізнавання об'єктів на 30 тестових зображеннях для кожної категорії. Середнє значення точності розпізнавання, кількість нерозпізнаних зображень у кожній категорії ( $N_{\text{нерозпізнане}}$ ) та кількість помилково розпізнаних

зображень ( $N_{\text{помилково розпізнане}}$ ) зазначено у таблиці 1. Зображення вважається нерозпізнаним, якщо не отримало приналежність до однієї з категорій більше ніж у 50%. Помилково розпізнаним зображенням вважається зображення, що отримало приналежність до невідповідної йому категорії більше ніж у 50%.

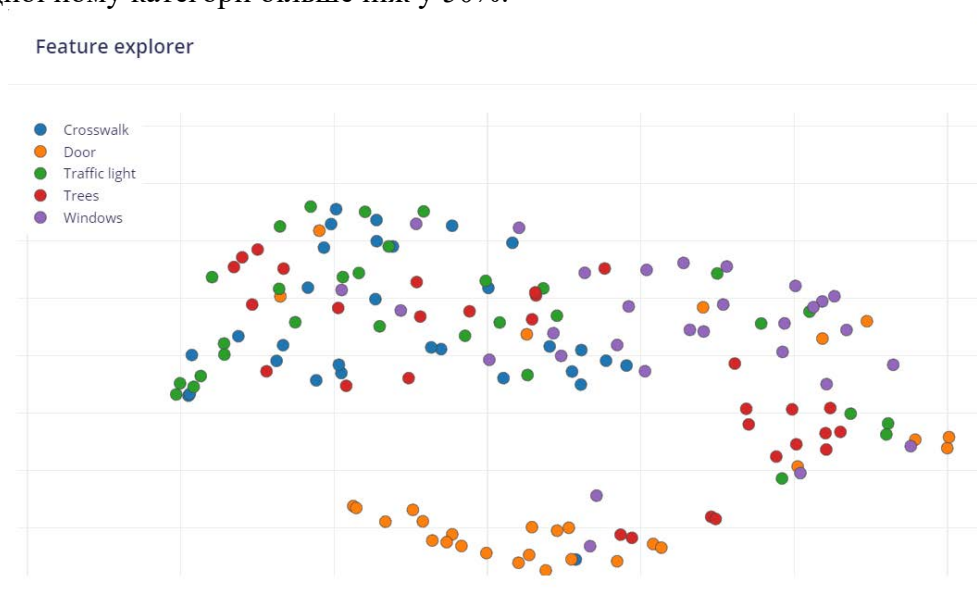


Рис. 2. Графічне відображення розподілу ознак необроблених тренувальних даних

Категорія "trees" має найбільшу кількість нерозпізнаних та помилково розпізнаних тестових зображень через те, що дерева можуть бути присутні на тренувальних зображеннях різних категорій, наприклад, відбиватися або просвічуватися через вікна, знаходитися поруч із пішохідним переходом. У такому випадку результат розпізнавання розподіляється між категоріями, що мають схожі ознаки. На рис. 3 зображено приклад розподілу вірогідності нерозпізаного тестового зображення дерева.

CROSSWALK	DOORS	TRAFFIC_LIGHT	TREES	WINDOWS
0.04	0.01	0.20	0.30	0.45

Рис. 3. Нерозпізане зображення дерева

З отриманих результатів можна зробити висновок, що зображення, які мають схожу сторонню інформацію у різних категоріях об'єктів, можуть бути нерозпізані або можуть отримати невірну класифікацію.

Таблиця 1

**Результати точності розпізнавання мережі з необробленими тренувальними даними**

Назва групи об'єктів	Точність	$N_{\text{нерозпізнане}}$	$N_{\text{помилково розпізнане}}$
Trees	0,57	5	4
Windows	0,63	4	3
Doors	0,68	2	3
Traffic lights	0,73	2	2
Crosswalk	0,74	3	2

Для перевірки впливу попередньої обробки тестових даних у програмі Adobe Photoshop оброблено по 15 тренувальних зображень для кожної категорії методом видалення зайвих об'єктів з зображення. Приклад обробки тренувальних даних зображено на рис.4.

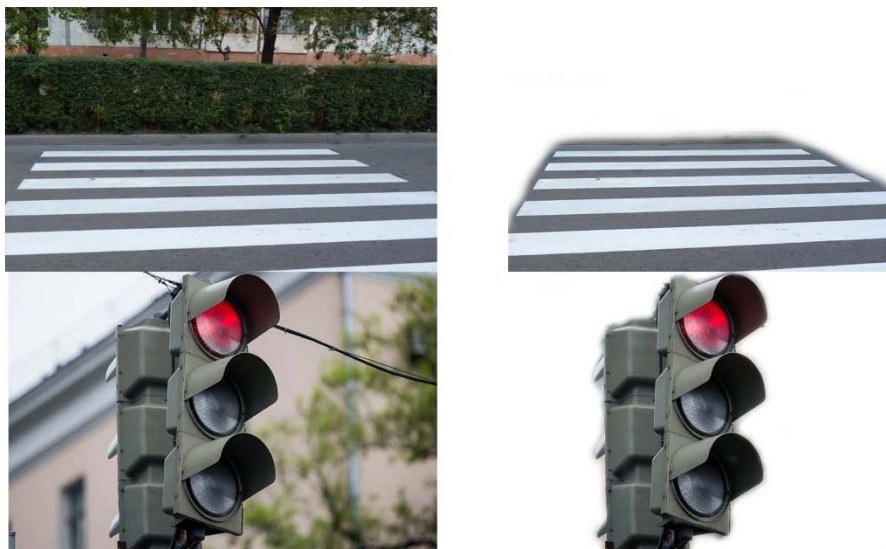


Рис. 4. Приклад необроблених і оброблених тренувальних даних

Після обробки половини тренувальних даних у кожній категорії виконано нову генерацію ознак з відредагованих тренувальних даних (рис. 5). З отриманого розподілу, можна зробити висновок, що видалення зайвих елементів з даних дало більш рівномірний розподіл ознак у випадку використання лише половини від стартових тренувальних зображень. Після чого було виконано тренування нейронної мережі та перевірено точність розпізнавання на тих самих тестових зображеннях. Результати визначення точності розпізнавання після обробки тренувальних даних наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

**Результати точності розпізнавання мережі з обробленими тренувальними даними**

Назва групи об'єктів	Точність	$N_{\text{нерозпізнане}}$	$N_{\text{помилково розпізнане}}$
Trees	0,61	2	2
Windows	0,66	1	2
Doors	0,72	2	1
Traffic lights	0,79	1	1
Crosswalk	0,82	1	1

З отриманих даних можна побачити, що видалення зайвих елементів призводить до більш чіткого формування ознак, і як наслідок, до меншої кількості помилкових і нерозпізнаних зображень. Також отримано приріст середньої точності розпізнавання категорій об'єктів та зменшення нерозпізнаних і помилково розпізнаних тестових зображень.

Враховуючи те, що у реальному житті під час використання нейронних мереж для розпізнавання різних категорій об'єктів зайва інформація буде постійно знаходитись біля об'єктів розпізнавання, для фінальної перевірки точності розпізнавання було змішано у пропорції один до одного необроблені і оброблені тренувальні данні. Кінцевий розподіл ознак зображено на рис. 6.

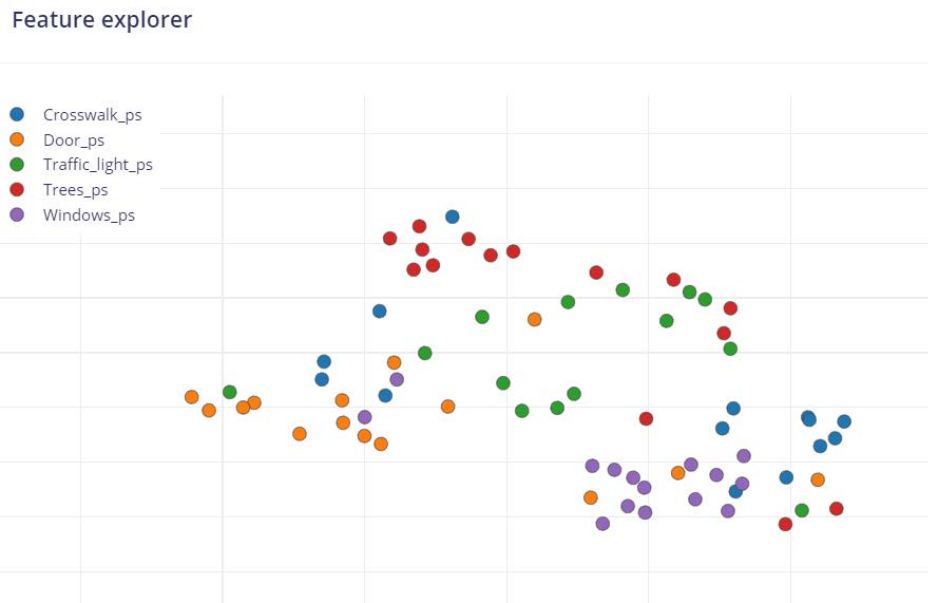


Рис. 5. Графічне відображення розподілу ознак оброблених тренувальних даних

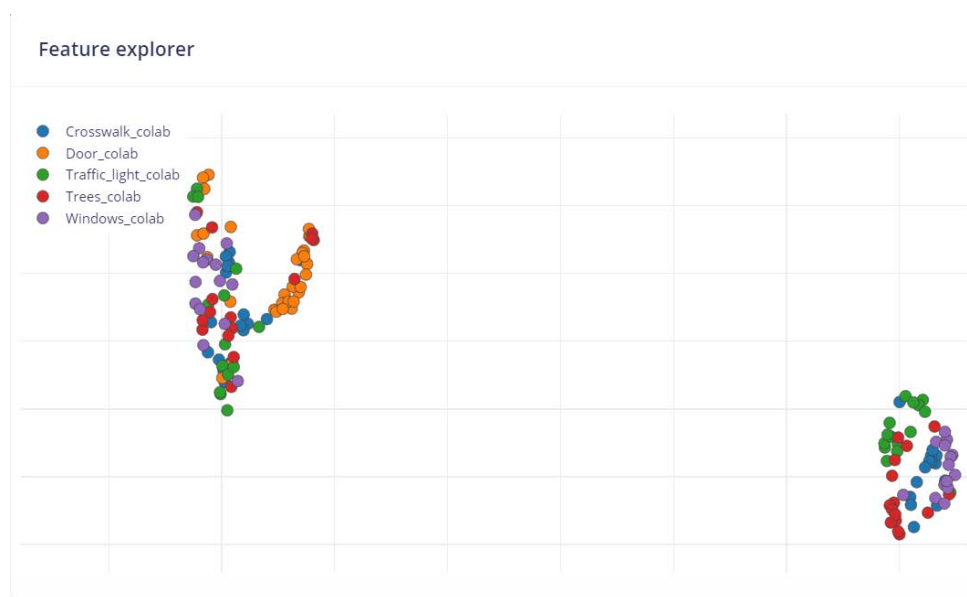


Рис. 6. Графічне відображення розподілу ознак оброблених та необроблених тренувальних даних

Проаналізувавши отриманий розподіл ознак, можна зробити такі висновки: для кожної категорії об'єктів сформовано різні ознаки на базі оброблених і необроблених тренувальних даних, таким чином розширено спектр можливих варіацій вхідних даних для розпізнавання. Отриманий розподіл більш рівномірний, ніж два попередніх розподіли, що в свою чергу означає потенційне підвищення точності розпізнавання і зменшення кількості помилкових та нерозпізнаних зображень.

Також можна зробити висновки щодо важливості вірного групування тренувальних даних, якщо необхідно розпізнавати різні категорії об'єктів зі схожою надлишковою інформацією однією нейронною мережею.

Після генерації ознак, на основі змішаних тренувальних даних виконано навчання нейронної мережі та перевірку на тих самих тестових зображеннях. Результати розпізнавання відображено у таблиці 3.

Таблиця 3

**Результати точності розпізнавання мережі зі змішаними тренувальними даними.**

Назва групи об'єктів	Точність	N <sub>нерозпізнане</sub>	N <sub>помилково розпізнане</sub>
Trees	0,73	1	1
Windows	0,77	1	0
Doors	0,80	0	1
Traffic lights	0,85	0	0
Crosswalk	0,87	0	0

Використання змішаного методу тренування дає приріст точності, зменшує кількість нерозпізнаних та помилково розпізнаних об'єктів. Слід зауважити, що у категоріях "traffic lights" та "crosswalk" усі тестові зображення було розпізнано вірно, а у категоріях "windows", "doors", "trees" ще залишилися нерозпізнані або помилково розпізнанні тестові зображення. Це може свідчити про те, що для розпізнавання схожих категорій за візуальними ознаками необхідно збільшувати кількість тренувальних даних у порівнянні з категоріями, де відмінності у об'єктах більш очевидні на рівні класифікації ознак.

Отже, метод попередньої обробки тренувальних даних у поєднанні з необробленими тренувальними даними дає приріст точності розпізнавання різних категорій об'єктів, зменшує кількість помилкових та нерозпізнаних зображень. Середній приріст точності для кожної окремої категорії становить більше 10%, що є досить суттєвим, враховуючи те, що кількість тренувальних даних лишилася незмінною. Такий підхід до обробки тренувальних даних може використовуватися для тренування нейронних мереж, які можуть розгортатися на пристроях з обмеженими ресурсами, для об'єктів з обмеженою кількістю тренувальних даних, а також за необхідності навчати нейронну мережу розпізнавати об'єкти зі схожою надлишковою інформацією.

**Висновки.** Проведено експериментальне дослідження впливу попередньої обробки тренувальних даних методом видалення зайвих об'єктів, а саме "windows", "doors", "trees", "traffic lights", "crosswalk" у графічному редакторі Adobe Photoshop на точність розпізнавання різних категорій об'єктів нейронною мережею на базі архітектури MobileNetV2 з розміром зображення 96\*96 пікселів та коефіцієнтом стиснення мережі 0.35. Встановлено, що у випадку наявності схожої надлишкової інформації на тренувальних даних у різних категоріях об'єктів розподіл характерних ознак для різних категорій може бути не чіткий, і як наслідок, виникають нерозпізнані та невірно розпізнанні тестові зображення.

Також експериментально отримано, що метод видалення зайвої інформації з тренувальних зображень дає більш чітке виділення ознак, а поєднання необроблених та оброблених тренувальних даних дає середній приріст точності розпізнавання більше ніж 10% для кожної категорії, а також суттєве зменшення нерозпізнаних та невірно розпізнаних тестових зображень.

Також встановлено, що метод видалення зайвої інформації буде максимально ефективним у мережах, де різні категорії мають схожу колірну інформацію, але суттєво відрізняються за своєю формою. При цьому кількість тренувальних зображень не була збільшена, що дозволяє використання такого методу для обробки зображень, у різних ситуаціях, особливо коли мережа буде використовуватися у приладах з обмеженими ресурсами, такими як мікроконтролери.

## References

1. Thian, Y. L., Ng, D. W., Hallinan, J. T. P. D. et al. (2022). Effect of Training Data Volume on Performance of Convolutional Neural Network Pneumothorax Classifiers. *J Digit Imaging*, 35, 881–892. <https://doi.org/10.1007/s10278-022-00594-y>.
2. Khan, I. U., Raiaan, M. A. K., Fatema, K., Azam, S., Rashid, R. U., Mukta, S. H., Jonkman, M., De Boer, F. (2023). A Computer-Aided Diagnostic System to Identify Diabetic Retinopathy, Utilizing a Modified Compact Convolutional Transformer and Low-Resolution Images to Reduce Computation Time. *Biomedicines*, 11, 1566. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061566>.
3. Kiran Maharana, Surajit Mondal, Bhushankumar Nemade. A review: Data pre-processing and data augmentation techniques. *Global Transitions Proceedings*, Vol. 3, Iss. 1, P. 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.04.020>.
4. Vimal Kurup, R., Sowmya, V., Soman, K. P. (2020). Effect of Data Pre-processing on Brain Tumor Classification Using Capsulenet. In: *ICICCT 2019 – System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management (ICICCT 2019)*. Gunjan, V., Garcia Diaz, V., Cardona, M., Solanki, V., Sunitha, K. (eds). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8461-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8461-5_13).
5. Blazhko, U., Shapaval, V., Kovalev, V., Kohler, A. (2021). Comparison of augmentation and pre-processing for deep learning and chemometric classification of infrared spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 215, 104367. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2021.104367>.
6. Obaid, H. S., Dheyab, S. A., Sabry, S. S. (2019). The Impact of Data Pre-Processing Techniques and Dimensionality Reduction on the Accuracy of Machine Learning. *2019 9th Annual Information Technology, Electromechanical Engineering and Microelectronics Conference (IEMECON)*, Jaipur, India, 2019, pp. 279–283, DOI:10.1109/IEMECONX.2019.8877011.
7. Mohammed, R., Rawashdeh, J., Abdullah, M. (2020). Machine Learning with Oversampling and Undersampling Techniques: Overview Study and Experimental Results. *2020 11th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, Irbid, Jordan, 2020, pp. 243–248, DOI:10.1109/ICICS49469.2020.239556.

## Література

1. Thian Y. L., Ng D. W., Hallinan J. T. P. D. et al. Effect of Training Data Volume on Performance of Convolutional Neural Network Pneumothorax Classifiers. *J Digit Imaging*. 2022. No. 35. P. 881–892. <https://doi.org/10.1007/s10278-022-00594-y>.
2. Khan I. U., Raiaan M. A. K., Fatema K., Azam S., Rashid R. U., Mukta S. H., Jonkman M., De Boer F. A Computer-Aided Diagnostic System to Identify Diabetic Retinopathy, Utilizing a Modified Compact Convolutional Transformer and Low-Resolution Images to Reduce Computation Time. *Biomedicines*. 2023. No. 11. Art. 1566. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061566>.
3. Kiran Maharana, Surajit Mondal, Bhushankumar Nemade. A review: Data pre-processing and data augmentation techniques. *Global Transitions Proceedings*. 2022. Vol. 3, Iss. 1. P. 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.04.020>.
4. Vimal Kurup R., Sowmya V., Soman K. P. Effect of Data Pre-processing on Brain Tumor Classification Using Capsulenet. In: *ICICCT 2019 – System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management (ICICCT 2019)*. Gunjan V., Garcia Diaz V., Cardona M., Solanki V., Sunitha K. (eds). Springer, Singapore, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8461-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8461-5_13).
5. Blazhko U., Shapaval V., Kovalev V., Kohler A. Comparison of augmentation and pre-processing for deep learning and chemometric classification of infrared spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2021. Vol. 215. Art. 104367. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2021.104367>.
6. Obaid H. S., Dheyab S. A., Sabry S. S. The Impact of Data Pre-Processing Techniques and Dimensionality Reduction on the Accuracy of Machine Learning. *2019 9th Annual Information Technology, Electromechanical Engineering and Microelectronics Conference (IEMECON)*. Jaipur, India, 2019. P. 279–283. DOI:10.1109/IEMECONX.2019.8877011.
7. Mohammed R., Rawashdeh J., Abdullah M. Machine Learning with Oversampling and Undersampling Techniques: Overview Study and Experimental Results. *2020 11th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*. Irbid, Jordan, 2020.

8. Afifi, M., Brown, M. (2019). What Else Can Fool Deep Learning? Addressing Color Constancy Errors on Deep Neural Network Performance. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Seoul, Korea (South), pp. 243–252, DOI:10.1109/ICCV.2019.00033.
9. Howard, G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T. et al. (2017). Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv*, 17 Apr 2017, P. 1–9, DOI: 10.48550/arXiv.1704.04861.
10. Mao, W.-L., Chen, S.-H., Huang, Y.-T., Yang, Y.-T., Chou, P.-H. (2023). Indoor Scene Recognition Using ARM-based MobileNets Architectures. *2023 Fourteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, Paris, France, pp. 225–230, DOI: 10.1109/ICUFN57995.2023.10199386.
11. Ma H., Ye Y., Dong, J., Bo, Y. (2022). An Intelligent Garbage Classification System Using a Lightweight Network MobileNetV2. *2022 7th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*, Suzhou, China, pp. 531–535, DOI:10.1109/ICSIP55141.2022.9886985.
12. Cap, Q. H., Uga, H., Kagiwada, S., Iyatomi, H. (2022). LeafGAN: An Effective Data Augmentation Method for Practical Plant Disease Diagnosis. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 19, No. 2, P. 1258–1267, DOI:10.1109/TASE.2020.3041499.
13. Tarawneh, A. S., Hassanat, A. B., Altarawneh, G. A., Almuhaimeed, A. (2022). Stop Oversampling for Class Imbalance Learning: A Review. *IEEE Access*, Vol. 10, P. 47643–47660, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3169512.
14. Perez, H., Tah, J. H. M. (2020). Improving the Accuracy of Convolutional Neural Networks by Identifying and Removing Outlier Images in Datasets Using t-SNE. *Mathematics*, 8, 662. <https://doi.org/10.3390/math8050662>.
15. Dong, K., Zhou, C., Ruan, Y., Li, Y. (2020). MobileNetV2 Model for Image Classification. *2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA)*, Guangzhou, China, 2020, pp. 476–480, DOI:10.1109/ITCA52113.2020.00106.
2020. P. 243–248. DOI:10.1109/ICCV.2019.00033.
8. Afifi M., Brown M. What Else Can Fool Deep Learning? Addressing Color Constancy Errors on Deep Neural Network Performance. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Seoul, Korea (South), 2019. P. 243–252. DOI:10.1109/ICCV.2019.00033.
9. Howard G., Zhu M., Chen B., Kalenichenko D., Wang W., Weyand T. et al. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv*. 17 Apr 2017. P. 1–9. DOI:10.48550/arXiv.1704.04861.
10. Mao W.-L., Chen S.-H., Huang Y.-T., Yang Y.-T., Chou P.-H. Indoor Scene Recognition Using ARM-based MobileNets Architectures. *2023 Fourteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*. Paris, France, 2023. P. 225–230. DOI:10.1109/ICUFN57995.2023.10199386.
11. Ma H., Ye Y., Dong J., Bo Y. An Intelligent Garbage Classification System Using a Lightweight Network MobileNetV2. *2022 7th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*. Suzhou, China, 2022. P. 531–535. DOI:10.1109/ICSIP55141.2022.9886985.
12. Cap Q. H., Uga H., Kagiwada S., Iyatomi H. "LeafGAN: An Effective Data Augmentation Method for Practical Plant Disease Diagnosis. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2022. Vol. 19, No. 2. P. 1258–1267. DOI:10.1109/TASE.2020.3041499.
13. Tarawneh A. S., Hassanat A. B., Altarawneh G. A., Almuhaimeed A. Stop Oversampling for Class Imbalance Learning: A Review. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 47643–47660. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3169512.
14. Perez H., Tah J. H. M. Improving the Accuracy of Convolutional Neural Networks by Identifying and Removing Outlier Images in Datasets Using t-SNE. *Mathematics*. 2020. 8, 662. <https://doi.org/10.3390/math8050662>.
15. Dong K., Zhou C., Ruan Y., Li Y. MobileNetV2 Model for Image Classification. *2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA)*. Guangzhou, China, 2020. P. 476–480. DOI:10.1109/ITCA52113.2020.00106.

16. Edge impulse. *edgeimpulse.com*.  
<https://www.edgeimpulse.com/>

URL: 16. Edge impulse. *edgeimpulse.com*. URL:  
<https://www.edgeimpulse.com/>

**DENISOV ROSTYSLAV**

Post graduate student,  
Department of Acoustic and  
Multimedia Electronic Systems,  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1146-9114>  
E-mail: [rostikdenisov@gmail.com](mailto:rostikdenisov@gmail.com)

**POPOVYCH P.V.**

PhD, Associate Professor,  
Department of Acoustic and  
Multimedia Electronic Systems,  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-1572-3127>  
Scopus Author ID: 55225965700  
Researcher ID: J-6574-2017  
E-mail: [p.popovich80@gmail.com](mailto:p.popovich80@gmail.com)

**DENISOV R. V., POPOVYCH P. V.**

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

### **FEATURES OF NEURAL NETWORK PRE-PROCESSING AND GROUPING OF TRAINING DATA TO IMPROVE ACCURACY OF OBJECT RECOGNITION BASED ON MOBILENETV2**

**Purpose.** Investigation of the possibilities of increasing the accuracy and variability of recognition of different groups of objects with similar redundant information by a neural network, after preprocessing and grouping of training images for further use on microcontrollers. The effect of removing redundant information in the training data on the practical values of recognition accuracy of different categories of objects based on the MobileNet V2 architecture is verified.

**Methodology.** Creating different groups of training images using the Edge Impulse software platform. Image processing by the method of removing unnecessary objects in the graphic editor Adobe Photoshop. Testing the recognition accuracy of raw, processed and mixed groups of training images.

**Findings.** Several groups of training images have been created on the basis of the Edge Impulse software platform. In part of the images, all unnecessary elements were removed using the Adobe Photoshop graphic editor. It was established that in the presence of similar redundant information on the training data, in different categories of objects, unrecognized and falsely recognized test images appear as a result of recognition. It was experimentally found that the method of removing redundant information from training images gives a clearer distribution of features, and the combination of raw and processed training data gives an average increase in recognition accuracy of more than 10% for each category, as well as a significant reduction of unrecognized and incorrectly recognized test images, while the same amount of training data.

**Originality.** A combined method of training data processing and grouping was obtained, which increases the accuracy of object recognition without increasing the amount of training data. The effect of similar redundant information in different categories of objects on recognition accuracy was investigated.

**Practical value.** The obtained results make it possible to increase the accuracy of recognition of different groups of objects with similar redundant information by one neural network without increasing the number of training images.

**Keywords:** pre-processing of images; microcontrollers; image recognition; convolutional neural networks; Edge Impulse; MobileNetV2.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.2>

УДК 687.  
053.147

МАНОЙЛЕНКО О. П., ГОРОБЕЦЬ В. А.,  
КНЯЗЄВ І. М., ШКВИРА В. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЇ МЕХАНІЗМІВ ПОДАЧІ ПЕТЕЛЬНИКОВОЇ НИТКИ ШВЕЙНИХ МАШИН ЛАНЦЮГОВОГО СТІБКА НА ОСНОВІ АНАЛІЗА ЇХ СТРУКТУРИ

**Мета:** цього дослідження є створення систематизованої класифікації механізмів подачі петельникових ниток (МППН) за їхніми структурними ознаками та проведення аналізу застосування відомих механізмів подачі петельникових ниток у швейних машинах, в яких реалізуються ланцюгові стібки різних типів (400, 500, 600 та 800). Цей аналіз сприятиме встановленню спільних ознак та відмінностей у структурі МППН для різних моделей машин, що є ключовим для виробників та інженерів під час розробки нових продуктів.

Додатково, важливим етапом є розроблення структурних схем механізмів подачі петельників у швейних машинах ланцюгового стібка, що виготовляються передовими фірмами. Це дозволить візуалізувати та провести аналіз роботи цих механізмів з використанням інженерного аналізу та визначити їхній вплив на якість та продуктивність машини. Такий підхід сприяє підвищенню якості та ефективності застосування цих швейних машин, що є надзвичайно важливим у сучасній текстильній промисловості.

**Методика** включає основні етапи структурно-топологічного аналізу, а саме: формування функціональних задач, розділення об'єктів МППН за принциповими та функціональними ознаками на елементи (типи кулачків, ланки, ниткоподавачі, нитконапрямники, регулятор натягу нитки, наявності регулювання закону та величини подачі нитки тощо), проведення топологічної декомпозиції МППН та встановлення відношень між ними, не вникаючи у їх змістовний опис, групування за типом та реалізації типу стібка.

**Результати:** Розроблена класифікація МППН з урахуванням їх структури та елементів що до них входять, яка може бути використана на першому етапі проєктування цих механізмів.

**Наукова новизна** полягає в структурно-топологічному аналізі МППН швейних машин ланцюгового стібка та розробці їх класифікації. Аналіз структури МППН відкривають можливість ідентифікувати елементи, які призначені для регулювання величиною та законом дійсної подачі нитки. Це важливий крок, який розширює спектр об'єктів дослідження і призводить до наукового вдосконалення у подальших дослідженнях МППН. Нові можливості аналізу таких елементів дозволяють вдосконалювати роботу МППН та оптимізувати процес подачі нитки, що має велике значення для підвищення ефективності та надійності технологічних процесів утворення ланцюгового стібка для різних швейних машин ланцюгового стібка. Ці наукові результати розкривають перспективи для майбутніх досліджень і можуть сприяти виникненню нових інновацій у швейному машинобудуванні.

**Практична значимість:** систематизація відомих МППН, що полегшує вибір їх структури при проєктуванні швейних машин ланцюгового стібка різних класів. Ця класифікація може бути використана для врахування різноманітних факторів при проєктуванні МППН, таких як структура, принцип дії механізмів подачі петельникової нитки відповідно до типів стібків. Наведені схеми заправлення ниток петельника будуть корисні при заправленні ниток в швейних машини ланцюгового стібка.

**Ключові слова:** механізм подачі нитки швейних машин; швейні машини; ланцюговий стібок; класифікація механізмів подачі петельникових ниток; структури механізмів подачі петельникових ниток; проєктування швейних машин.

**Вступ.** Механізми подачі ниток, як петельника так і голки відносяться до головних механізмів швейних машин ланцюгового стібка, оскільки їх задача забезпечувати правильну взаємодію ниток з іншими робочими органами в процесі утворення ланцюгових стібків. Тому

механізми подачі нитки проєктуються після розробки інших механізмів швейних машин. Враховуючи значний спектр фізичних характеристик матеріалів і ниток, а також складний закон функції необхідної подачі нитки в процесі утворення певного типу стібка, це можна вважати найважливішою стадією проєктування швейних машин.

**Постановка завдання.** На сьогодні не існує цілісного метода проєктування механізмів подачі петельникової нитки швейних машин ланцюгового стібка та вибору його структури для реалізації поставлених конструкторських задач. В літературних джерелах розглянуті частинні випадки проєктування деяких видів цих механізмів, здебільшого тих, які в сучасних швейних машинах практично не застосовуються, а самі методи є графічними або графоаналітичними. Натомість в відомих літературних джерелах відсутній опис методів проєктування механізмів, що використовуються у швейних машинах ланцюгового стібка таких відомих зарубіжних виробників, як Union Special, Rimoldi, Juki, Yamato, Pegasus, Bruce, Siruba, Typical, Kansai-Special і інші [1–24], не представлена в доступних відкритих джерелах. Крім того, відсутні рекомендації щодо об'єктивного вибору типу цих механізмів та їх структурної систематизації з урахуванням забезпечення необхідної подачі нитки відповідно до типу ланцюгового стібка та його елементу, що утворюється нижнім або верхнім петельником [25].

Як відомо на першому етапі проєктування МППН необхідно здійснити вибір їх раціональної структури, тому задачею цього дослідження є аналіз структури відомих МППН, а також їх систематизація за цим критерієм. Таким чином, виникає потреба в подальших наукових дослідженнях і розробці рекомендацій у цій галузі для здійснення оптимального вибору та застосування механізмів з урахуванням конкретних параметрів стібка та типу нитки, а також у встановленні якісного та кількісного впливу на функцію дійсної подачі нитки додаткових регуляторів натягу нитки, ниткозатискачів, компенсаторів і стабілізаторів. Отримані дані дозволять налаштувати механізм подачі нитки згідно з конкретними вимогами шиття, що забезпечує стійку якість роботи петельника і відповідність швів стандартам якості. Отже, правильний вибір і налаштування МППН стає суттєвою частиною оптимізації процесу шиття і досягнення високої якості продукції.

**Результати досліджень.** Однією з особливостей МППН швейних машин ланцюгового стібка класів 400–800 є їх розташування в середині платформи машини, у більшості випадків ниткоподавачі розміщують безпосередньо на головному чи розподільчому обертових валах, або на окремому валу, рідше використовуються ланки механізмів петельників і навіть голки або містять окремі кінематичні ланцюги. В цей же час у краєобметувальних швейних машинах для забезпечення подачі нижньому та верхньому петельникам застосовуються переважно важільні ниткоподавачі. Подача нитки нижньому петельнику для сточувальних строчок на краєобметувальних машинах для виконання класу стібків 800 також виконується в більшості ротаційними ниткоподавачами. Це обумовлено передусім необхідністю раціональної компоновки машини.

Протяжність контуру подачі нитки, кількість постійних та змінних його ділянок наявність додаткових регуляторів натягу нитки, ниткозатискачів, компенсаторів та ниткопритискачів визначають тип МППН та його застосування в певних типах швейних машин для забезпечення подачею нитки механізмів петельника. При цьому, враховуючи складний характер функцій необхідної подачі нитки петельника, та її залежність від різних технологічних параметрів (довжина стібка, товщина матеріалів, фізико-механічні властивості ниток), МППН виконуються з регульованими нитконапрямниками або ниткоподавачами. Як правило, для зменшення впливу деформації нитки на закон її подачі, застосовуються додаткові регулятори натягу нитки розташовані поряд з ниткоподавачами кулачкового типу, в інших випадках компенсація закону подачі нитки може здійснюватися за рахунок значної довжини контуру подачі нитки внаслідок його деформації.

На рис. 1, а [26] наведений однокулачковий МППН, який застосовується в ряді швейних машин плоского ланцюгового стібка, або сточувального ланцюгового стібка швейних машин мод. 52900, мод. 56200–56900 ф. Union Special [1], краєобметувальних машин мод. 39899 А ф. Union Special [1], мод. 229 ф. Rimoldi [23]. Його структура включає в себе низку нитконапрямників та дугоподібний ниткопритискач, які можуть змінювати своє положення в процесі регулювання відносно профілю кулачка, що впливає на закон подачі нитки. Слід зауважити, що закон дійсної подачі нитки в кулачкових МППН залежить від геодезичного положення нитки на поверхні кулачка та зусилля натягу нитки. Для отримання більшого контролю над поведінкою нитки на поверхнях кулачкових ниткоподавачів у складі МППН використовують ниткопритискачі нитки різної конструкції.

У конструкції, як показано на рис. 1, б [27], ниткопритискач виконаний рухомим у вигляді підпружиненого повзуна, який вводить нитку петельника в контакт безпосередньо з основним кулачковим ниткоподавачем.

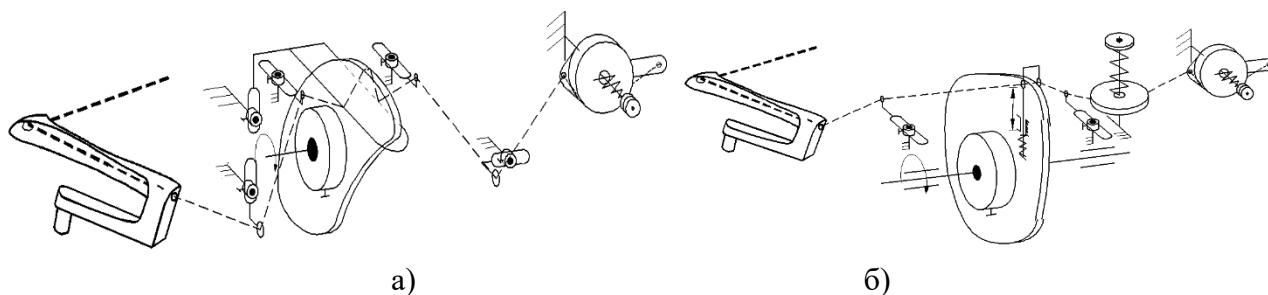


Рис. 1. Кінематичні схеми модифікацій однокулачкових МППН з обертовим рухом кулачка

Ця система дозволяє підтримувати стійкий контакт між ниткою та ниткоподавачем, забезпечуючи надійну подачу нитки в процесі утворення стібка незалежно від фізико-механічних властивостей ниток, які впливають на геодезичне положення нитки на ниткоподавачі.

В швейних машинах мод. 39500, 39600 39800 ф. Union Special [1] для забезпечення подачею нижнього та верхнього петельників застосований коливний тип однокулачкових МППН (рис. 2, а, б), при цьому в конструкції швейної машини 39500 ф. Union Special [1] нитконапрямники виконані у вигляді здвоєних вічок між якими встановлений плоский кулачок, який закріплений на дугоподібному голководі-коромислі механізму голки. вертикального пазового ниткопритискача (рис. 2, б). В цей же час в конструкції швейної машини 39600 ф. Union Special [1] МППН верхнього петельника виконаний двопрофільним з внутрішнім на зовнішнім профілем та закріпленим на голководі-коромислі механізму голки. Внутрішній профіль кулачка забезпечує подачею нитки верхньому петельнику а зовнішній, в свою чергу подачу нитки голці (схема контуру нитки не показана).

На завершення розгляду однокулачкових МППН необхідно зауважити, що для швейних машин з верхнім розташуванням головного вала, в яких петельник отримує еліпсоподібний рух від вала, що виконує як коливні так і поступальні рухи може застосовуватися кулачок, що закріплений на цьому валу (рис. 3, а) [28]. Оскільки коливні переміщення ниткоподавачів порівняно з поступальними переміщеннями на порядок менші і практично не впливають на процес подачі нитки, то можна вважати МППН таким, в якому кулачок-ниткоподавач здійснює поступальний рух. Аналогічна конструкція МППН для нижнього петельника застосована в швейній машині мод. 43200G ф. Union Special [1] (рис. 3, б).

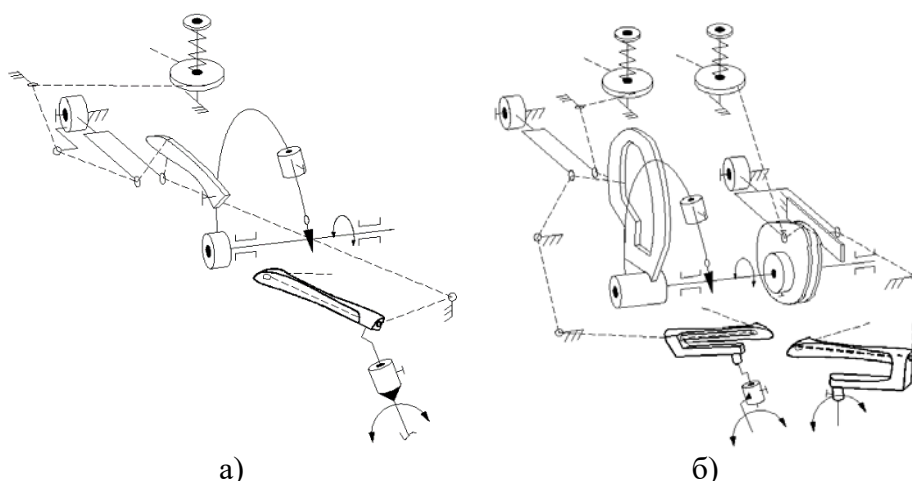


Рис. 2. Кінематична схема однокулачкового МППН з коливним рухом кулачка

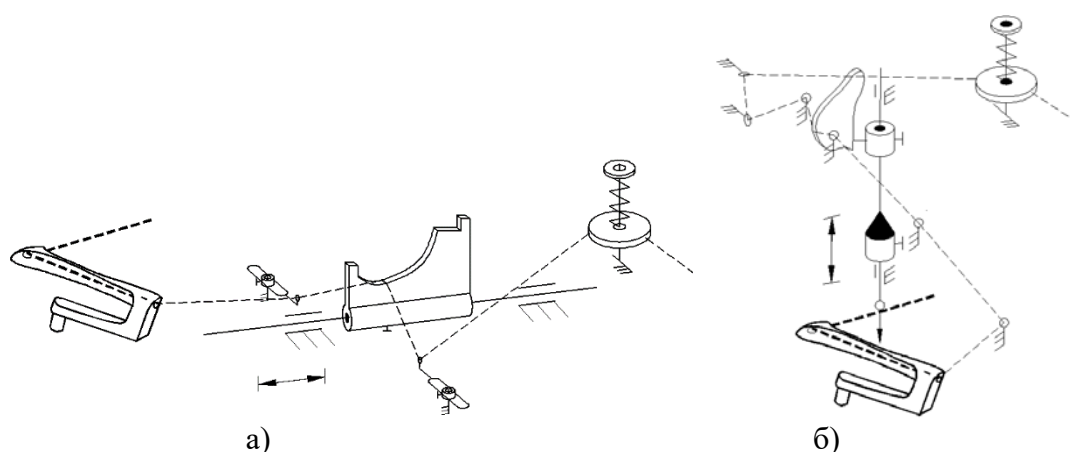


Рис. 3. Кінематична схема однокулачкового МППН з зворотно-поступальним рухом кулачка

Оскільки, як було вказано вище, функція необхідної подачі нитки петельника має досить складний характер, то для досягнення більшої відповідності її зі значеннями значень функції дійсної подачі застосовують два кулачки і більшу кількість нитконапрямників для збільшення кількості ділянок контуру подачі зі змінною довжиною, за рахунок яких і досягається необхідні значення цієї функції.

У найпростішому варіанті, кулачки ниткоподавача можуть бути просто здвоєні (рис. 4, а) [29], і між цими кулачками встановлений ниткопритискач у вигляді криволінійного стержня, який відіграє роль додаткового нерухомого кулачка застосовується в швейних машинах мод. 53700 ф. Union Special [1]

Здвоєні кулачки, які були вперше використані ще в кінці XIX століття фірмами Singer [29], Union Special [1, 30], є популярними і в сучасний час серед провідних компаній у галузі швейного машинобудування [1–24].

Практично всі двокулачкові МППН пізніх модифікацій оснащені додатковим регуляторами натягу нитки. Як було згадано раніше, додатковий регулятор натягу нитки відповідає за контроль деформації нитки на ділянці між основним регулятором натягу нитки та кулачками. Це дозволяє враховувати можливі невідповідності в подачі нитки, що можуть виникнути через її фізико-механічні властивості. Наявність додаткового стержневого ниткопритискача дозволяє збільшити число ділянок контуру подачі з двох до чотирьох, що дозволяє разом з геометрією напрямного стержня впливати на закон дійсної подачі нитки. В

інших конструкціях ниткопритискач виконаний у вигляді пластини (рис. 4, б) такий МППН застосований в більшості п'ятиниткових краєобметувальних машинах, так наприклад, в мод. 51300 ф. Union Special [1], мод. MO-3600, MO-6700 DA ф. Juki [2], JK-F4-6-03/333, JK-E4S-5-03/333 ф. Jack [3], мод., 5500, 7720 ф. SG-GEMSY [11], мод. 600 KP-657 ф. Siruba [5], EX2200-EX5200 ф. Pegasus [20] або плоскошовних швейних машинах мод. 164 ф. Rimoldi [23], мод. JK-8569, JK-8669B ф. Jack [3], HF008A ф. Siruba [5], FD3-B251 ф. Brother [8] рукавних машинах мод. MS-1190 ф. Juki [2] з циліндричною платформою мод. NC1103 ф. Kansai-Special [24] тощо. Тут треба відмітити, що аналогічна конструкція МППН застосовується і для нижнього петельника в швейній машині мод. 39600 ф. Union Special [1] (рис. 2, б), відмінним є те що кулачок виконує коливний рух.

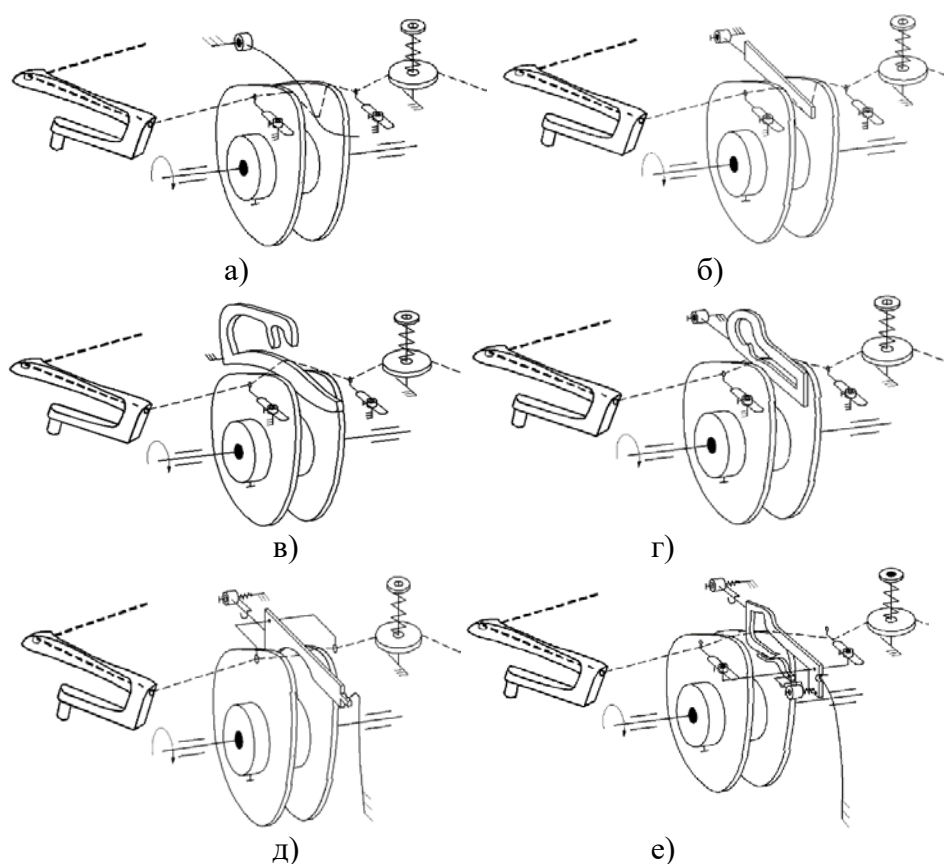


Рис. 4. Кінематичні схеми модифікацій рівнопрофільних двокулачкових МППН

Широке застосування на сьогодні знайшли МППН з ниткопритискачем, який виконаний у вигляді кулачка (рис. 4, в–е). Таку конструкцію було запропоновано в кінці XIX початку XX століття (рис. 4, в, г) [29-31], і сьогодні застосовується в модельному ряду швейних машин мод. MF-7200 ф. Juki [2], мод. K4-D ф. Jack [3], мод. ZJ662 ф. Zoje [12], мод. C007K, C007KD ф. Siruba [5], мод. W600 ф. Pegasus [21], мод. DT4-B281 ф. Brother [8] (рис. 4, г). Аналогічний профільний ниткопритискач (рис. 4, д) застосований в модифікації двох та багатониткових швейних машин плоского ланцюгового стібка модельного ряду MH-481 кл, ф. Juki [2]. У швейних машинах класу 600 в мод. MF-7500, MF-7900 ф. Juki [2] застосований МППН з ниткопритискачем який включає підпружинений компенсатор зусилля натягу ниток (рис. 4, е). Крім того, для зручності заправлення та налаштування ниткопритискача та нитконапрямників є можливість їх відхилення вгору (рис. 4, д, е).

Кращого результату можна досягти виконанням обох кулачків ниткоподавача різнопрофільними із двома ниткопритискачами (рис. 5, а–в) [32, 33]. При цьому, один ниткопритискач виконаний рухомим і нитка вводиться безпосередньо в контакт з основним кулачком ниткоподавачем відбувається через ролик (рис. 5, а, б). Цей ролик може притискатися до ниткоподавача пружиною, здійснюючи при подачі поступальний (рис. 5, а) [32] або коливний (рис. 5, б) [33] рух. В швейній машині мод. FS700P ф. Pegasus [20] (рис. 5, в) застосований трьохкулачковий МППН в якому основний кулачок виконаний здвоєним аналогічно конструкції МППН рис. 4, г. Необхідно відмітити, що застосування відповідного профілю додаткового кулачка в конструкціях МППН рис. 5, а–в можна досягти кращого результату приближення значень функцій необхідної і дійсної подачі нитки.

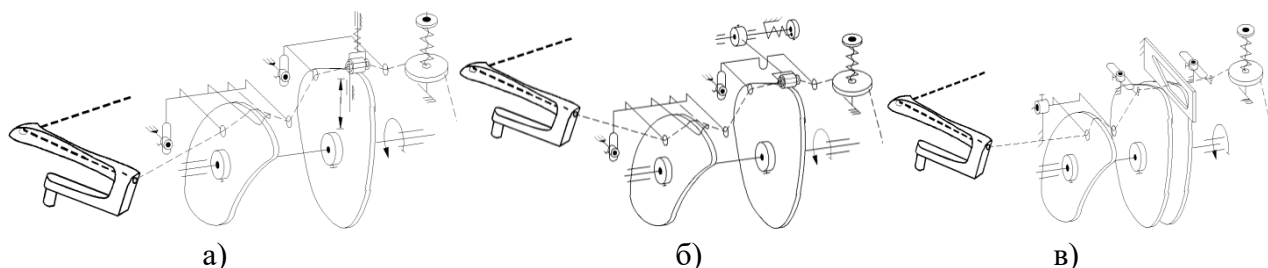


Рис. 5. Кінематичні схеми модифікацій різнопрофільних МППН

В швейних машинах ланцюгового стібка, в першу чергу краєобметувальних, широко застосовуються важільні МППН, в більших випадках для забезпечення подачі нитки, як нижньому так і верхньому петельнику. У цьому випадку, ниткоподавачі як правило, закріплені з можливістю регулювання на ланках механізмів петельників (рис. 6, а–и), або вони можуть мати власний кінематичний ланцюг (рис. 6, і, й) [33], який використовується для реалізації необхідного закону подачі нитки петельникам, або закріплений на ланках механізму голки (рис. 6, і) [1]. Так в МППН правого петельника швейних машинах 8515 Altin ф. Textima (рис. 6, а), ш.м. MO51eN ф. Juki [2] (рис. 6, б) [2] застосовується тільки один ниткоподавач закріплений на валу коромисла правого петельника. В інших конструкціях ш.м. серії AZ7000, AZ7100, AZ7500 ф. Yamato [21], MO-6700 ф. Juki [2] (рис. 6, в), MO 357/358 ф. Juki [2] (рис. 6, г) мод. JK-F4-6-03/333, JK-E4S-5-03/333 ф. Jack [3] (рис. 6, д), мод. 239 ф. Rimoldi [23] (рис. 6, е), мод. E256 ф. Pegasus [20] (рис. 6, є), мод. GN794D Typical [6], мод. BRC X3 ф. Bruce [18], мод. DCZ-203 Yamato [21], мод. JJT3000, JJT5000 Kansai-Special [24], мод. 7720 ф. SG-GEMSY [4], B9500-13H-ED2 Zoje [12] (рис. 6, ж), мод. 600KP, 700L ф. Siruba [5], MX5200, EX 3200, EX 5100-5300, ф. Pegasus [20] (рис. 6, з), мод. M900 ф. Pegasus [20] (рис. 6, и) ниткоподавачі закріплені на обох валах коромисла, при цьому кількість змінних ділянок контурів у всіх машинах різна. Слід відмітити особливість конструкції МППН верхнього петельника мод. 39899 А ф. Union Special [1] (рис. 6, і) в якій ниткоподавачі закріплені на двохплечому коромислі механізму голки.

В деяких випадках, наприклад, в МППН ш.м. 8515 Altin ф. Textima (рис. 6, а), вушко ниткоподавачі виконане у вигляді дугоподібної прорізи, а машині мод. 39899 А ф. Union Special [1] (рис. 6, і) з прямолінійними прорізами, що призводить до періодичної дії ниткоподавача на нитку, що додатково дозволяє змінювати закон подачі нитки. В залежності від кількості ниткоподавачів важільні механізми можна поділити за числом змінних ділянок контурів нитки для нижнього петельника: 2-х (рис. 6, б, г, е, і, й), 3-х (рис. 6, а, в, д, и, і, з) 4-х (рис. 6, ж, є), верхнього петельника: 2-х (рис. 6, б, г), 3-х (рис. 6, а, е, и), 5-х (рис. 6, в, д, ж, з, и, є).

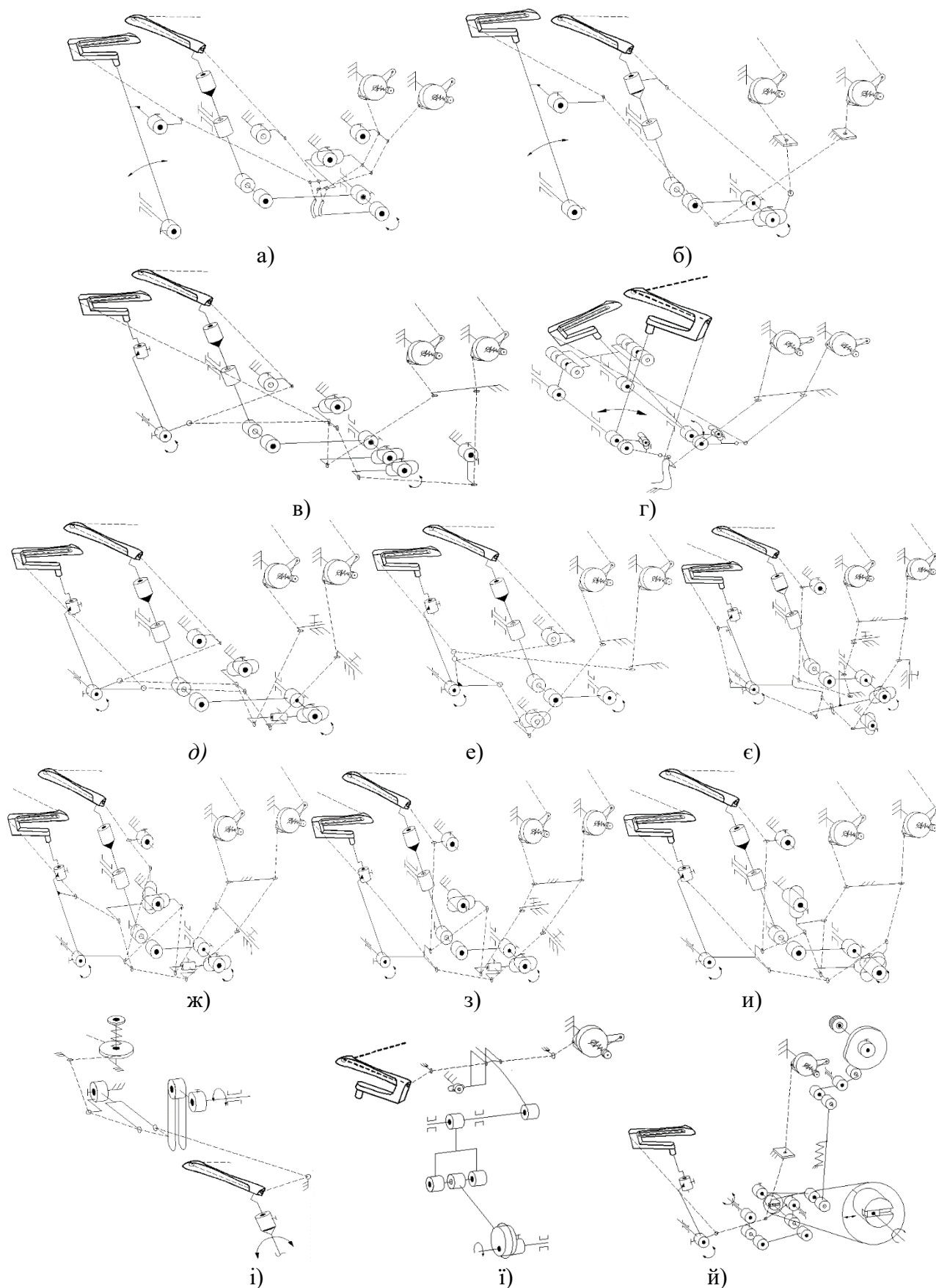


Рис. 6. Кінематичні схеми модифікацій важільних МППН

Окремою групою МППН є кулачково-важільні (як правило зі здвоєним кулачком), які мають додаткові ниткозатискачі (рис. 7, а–в), що приводяться в рух окремим важільним кінематичним ланцюгом.

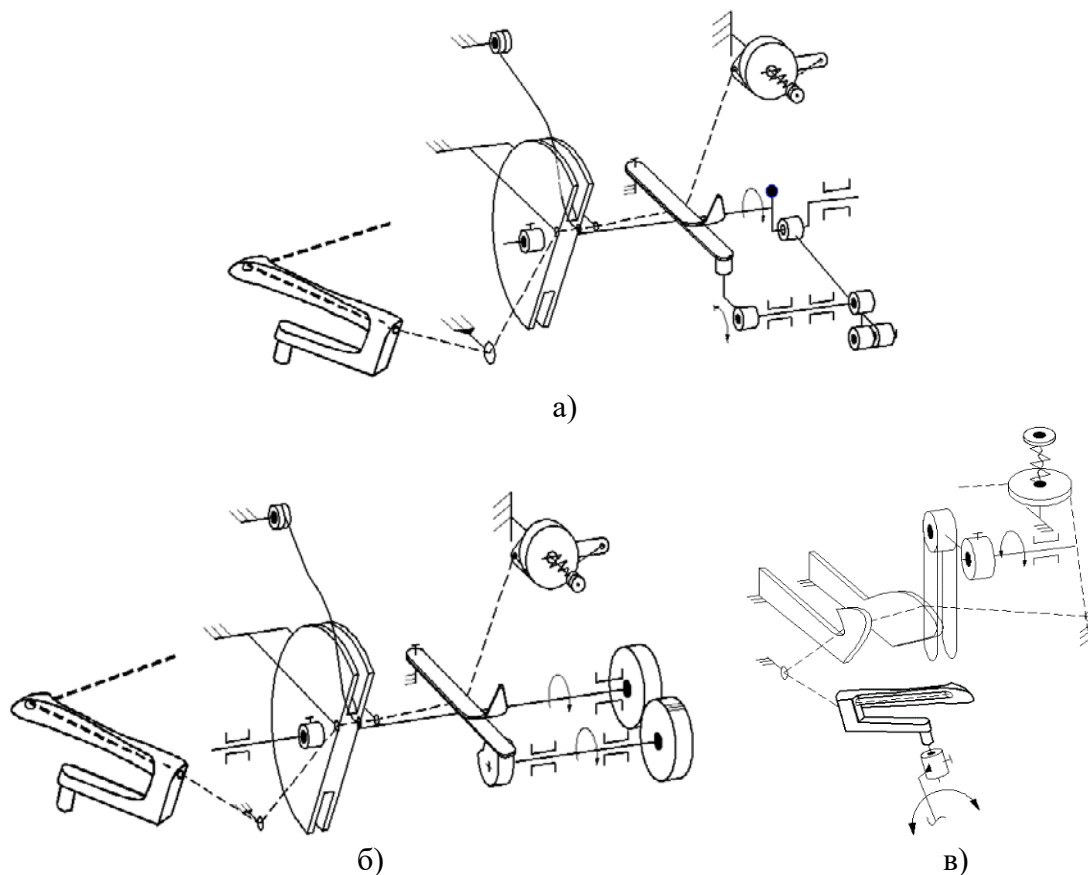


Рис. 7. Кінематичні схеми модифікацій кулачково-важільних МППН

При цьому ці ниткозатискачі вступають в роботу періодично під дією додаткових кінематичних ланцюгів, які діють на ниткозатискач коромислом (рис. 7, а), або кулачком (рис. 7, в). У конструкції МППН (рис. 7, а), періодичне стискання забезпечується за допомогою кривошипно-коромислового механізму, а в іншій конструкції це досягається рівномірним обертанням зубчатих коліс з передаточним відношенням від головного валу 1:1 (рис. 7, б). Особливістю конструкції швейної машини МППН мод. 39899 А ф. Union Special [1] (рис. 7, в) є те, що для забезпечення подачею верхнього петельника застосується нерухомий кулачок з рухомим ниткопритискачем закріпленим на коливному валу механізму голки, який присвоює русі протягує нитку по його профілю, забезпечуючи необхідний закон подачі.

Ще однією особливістю цієї структури МППН є те, що, на відміну від механізмів, зображених на рис. 4, функцію додаткового регулятора натягу нитки виконує ниткозатискач, що має можливість змінювати зусилля натягу нитки у визначений період.

Ця особливість структури МППН дозволяє забезпечити необхідну подачу петелькової нитки, регулюючи механізм подачі нитки відповідно до конкретних вимог і умов технологічного процесу. Такий підхід дозволяє досягнути оптимальної якості роботи швейної машини, особливо при обробці матеріалів та різними технологічними параметрів.

Підсумовуючи вищесказане, можна запропонувати наступну класифікацію МППН за структурою (рис. 8). Пропонується розділити на 3 групи: кулачкові, важільні, кулачково-важільні.



Рис. 8. Класифікація МППН за структурою

Першу групу можна поділити за кількістю кулачків, характером їх руху та наявністю додаткових елементів.

Другу групу можна розділити на механізми утворені простим кінематичним ланцюгом та розгалуженням.

До третьої групи належать кулачково-важільні механізми складної структури.

**Висновки.** Запропонована класифікація і аналітичний огляд структури відомих МППН, сприятимуть полегшенню вибору структури МППН під час проєстування швейних машин ланцюгового стібка. У подальшому дослідженні можна розглядати можливості застосування цієї класифікації для розробки нових структур МППН і для вдосконалення існуючих моделей, аналізу впливу регульованих параметрів та надання рекомендацій з регулювання цих механізмів.

## References

1. Union Special website. URL: <https://www.unionspecial.com/>
2. JUKI CORPORATION website. URL: <https://www.juki.co.jp/en/products/>
3. Jack sewing machines.co. website. URL: <https://www.jacksewingmachines.co.uk/jack-jk-t9280d-73-2pl-q-1-8-feed-off-the-arm-complete.html>.
4. SG-GEMSY website. URL: <http://sg-gemsy.eu/overlocki/>
5. Siruba website. URL: <http://www.siruba.com/>
6. Typical website. URL: [https://www.typicalinternational.com/ec/do/xagj/xagj~1000\\_1020~~1.html](https://www.typicalinternational.com/ec/do/xagj/xagj~1000_1020~~1.html).

## Література

1. Union Special website. URL: <https://www.unionspecial.com/>
2. JUKI CORPORATION website. URL: <https://www.juki.co.jp/en/products/>
3. Jack sewing machines.co. website. URL: <https://www.jacksewingmachines.co.uk/jack-jk-t9280d-73-2pl-q-1-8-feed-off-the-arm-complete.html>.
4. SG-GEMSY website. URL: <http://sg-gemsy.eu/overlocki/>
5. Siruba website. URL: <http://www.siruba.com/>
6. Typical website. URL: [https://www.typicalinternational.com/ec/do/xagj/xagj~1000\\_1020~~1.html](https://www.typicalinternational.com/ec/do/xagj/xagj~1000_1020~~1.html).

7. Leg-prom website. URL: <https://leg-prom.com.ua/ua/partlists>.
8. Brother website. URL: <https://sewingcraft.brother.eu/de-de>.
9. MEGASEW website. URL: [https://www.megasew.com/en\\_product.asp](https://www.megasew.com/en_product.asp).
10. K-Chance Sewing Machine Development Co., Ltd. website. URL: <http://www.k-chance-sewing.com.tw/>
11. Baoyu Sewing Machine Co., Ltd website. URL: <http://www.chinabaoyu.com/en/>
12. ZOJE SEWING MACHINE website. URL: <http://www.zoje.com/>
13. MEGASEW website. URL: [https://www.megasew.com/en\\_product.asp](https://www.megasew.com/en_product.asp).
14. K-Chance Sewing Machine Development Co., Ltd. website. URL: <http://www.k-chance-sewing.com.tw/>
17. MINERVA BOSKOVICE, A.S. website. URL: <https://www.minerva-boskovice.com/>
16. Zhejiang Shunfa Sewing Machine Co.,Ltd. website. URL. <http://www.shunfasew.com/en/product.aspx?lv=1&id=242&yfl=148>.
17. HUSQVARNA VIKING® website. URL. <https://www.husqvarnaviking.com/en-US/Machines/Sewing>.
18. Bruce website. URL. <https://bruce.com.pl/contacts-en>.
19. Japan Industrial Machine Corporation Japsew website. URL. [http://www.japsew.com/product/default\\_e.php?classid=19](http://www.japsew.com/product/default_e.php?classid=19).
20. PEGASUS CO., LTD website. URL. <https://www.pegasus.co.jp/en/machine/>
21. Yamato Sewing Machine Mfg. Co., Ltd. website. URL. <https://www.yamato-sewing.com/en/product/>
22. Ross Sewing Machines website. URL. <https://rosssewingmachines.co.za/>
23. Rimoldi website. URL. <http://www.rimoldiecf.com/en>.
24. Kansai-Special website. URL. <https://www.kansai-special.com>.
25. Manoilenko, O. (2020). Topological analysis and synthesis of machine chain stitches. *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)*, Vol. 27, No. 4, P. 58–69. URL: [http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT\\_2020\\_4\\_8.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_8.pdf).
26. Hemileb, M. (1915). Double-chain-stitch sewing-machine. United States Patent № 1,140,679.
27. Manoilenko, O. P., Horobets, V. A. (2018). Thread take up mechanism of a chain stitch sewing machine: Ukrainian patent No. 125119.
7. Leg-prom website. URL: <https://leg-prom.com.ua/ua/partlists>.
8. Brother website. URL: <https://sewingcraft.brother.eu/de-de>.
9. MEGASEW website. URL: [https://www.megasew.com/en\\_product.asp](https://www.megasew.com/en_product.asp).
10. K-Chance Sewing Machine Development Co., Ltd. website. URL: <http://www.k-chance-sewing.com.tw/>
11. Baoyu Sewing Machine Co., Ltd website. URL: <http://www.chinabaoyu.com/en/>
12. ZOJE SEWING MACHINE website. URL: <http://www.zoje.com/>
13. MEGASEW website. URL: [https://www.megasew.com/en\\_product.asp](https://www.megasew.com/en_product.asp).
14. K-Chance Sewing Machine Development Co., Ltd. website. URL: <http://www.k-chance-sewing.com.tw/>
15. MINERVA BOSKOVICE, A.S. website. URL: <https://www.minerva-boskovice.com/>
16. Zhejiang Shunfa Sewing Machine Co.,Ltd. website. URL. <http://www.shunfasew.com/en/product.aspx?lv=1&id=242&yfl=148>.
17. HUSQVARNA VIKING® website. URL. <https://www.husqvarnaviking.com/en-US/Machines/Sewing>.
18. Bruce website. URL. <https://bruce.com.pl/contacts-en>.
19. Japan Industrial Machine Corporation Japsew website. URL. [http://www.japsew.com/product/default\\_e.php?classid=19](http://www.japsew.com/product/default_e.php?classid=19).
20. PEGASUS CO., LTD website. URL. <https://www.pegasus.co.jp/en/machine/>
21. Yamato Sewing Machine Mfg. Co., Ltd. website. URL. <https://www.yamato-sewing.com/en/product/>
22. Ross Sewing Machines website. URL. <https://rosssewingmachines.co.za/>
23. Rimoldi website. URL. <http://www.rimoldiecf.com/en>.
24. Kansai-Special website. URL. <https://www.kansai-special.com>.
25. Manoilenko O. Topological analysis and synthesis of machine chain stitches. *Vlákna a textil = Fibres and Textiles*. 2020. Vol. 27, No. 4. P. 58–69. URL: [http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT\\_2020\\_4\\_8.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_8.pdf).
26. Hemileb M. Double-chain-stitch sewing-machine: United States Patent № 1,140,679, 1915.
27. Манойленко О. П., Горобець В. А., винахідники. Механізм подачі нитки

28. Horobets, V. A., Manoilenko, O. P., Korchuk, S. V. (2016). Take up mechanisms for the lower thread of a chain stitch sewing machine: Ukrainian patent No. 108646.
29. Rontike, A. (1897). Double chan stitch sewing machine. United States Patent № 582,691.
30. Charles, G. (1903). Chain stitch sewing machine. United States Patent № 734,574.
31. Wood, R. G. (1904). Chain stitch sewing machine. United States Patent No. 765,120.
32. Manoilenko, O. P., Gorobets, V. A., Nenno, D. O., Dvorhak, V. M., Andrushko, O. M., Shuba, E. S. (2019). Thread take up mechanism of a chain stitch sewing machine. Ukrainian patent No. 134014.
33. Manoilenko, O. P., Horobets, V. A., Nenno, D. O., Dvorhak, V. M., Mel, A. V., Savchuk, I. I. (2019). Thread take up mechanism of a chain stitch sewing machine. Ukrainian patent No 1340015.
34. Shiro Satoma (1992). Overlock sewing machine having upper and lower looper thread take up lever drive mechanisms. Japan patent № 843,310.
- швейної машини ланцюгового стібка: патент України № 125119, 2018.
28. Горобець В. А., Манойленко О. П., Корчук С. В. Механізм подачі нижньої нитки швейної машини ланцюгового стібка: патент України № 108646, 2016.
29. Rontike A. Double chan stitch sewing machine. United States Patent № 582,691, 1897.
30. Charles G. Chain stitch sewing machine. United States Patent № 734,574, 1903.
31. Wood R. G. Chain stitch sewing machine. United States Patent № 765,120, 1904.
32. Манойленко О. П., Горобець В. А., Ненно Д. О. та ін. Механізм подачі нитки швейної машини ланцюгового стібка: патент України № 134014, 2019.
33. Манойленко О. П., Горобець В. А., Ненно Д. О. та ін. Механізм подачі нитки швейної машини ланцюгового стібка: патент України № 134015, 2019.
34. Shiro Satoma. Overlock sewing machine having upper and lower looper thread take up lever drive mechanisms. Japan patent № 843,310, 1992.

**MANOILENKO OLEKSANDR**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of Department of Mechanical  
Engineering, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-5670-4977>  
Scopus Author ID: 57194469280  
E-mail: [manoilenko.op@knuutd.edu.ua](mailto:manoilenko.op@knuutd.edu.ua)

**KNIAZIEV ILLIA**

Postgraduate, Department of Mechanical Engineering,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0006-4260-1981>  
E-mail: [ilya221098@gmail.com](mailto:ilya221098@gmail.com)

**HOROBETS VASYL**

Candidate of Sciences in Engineering, Professor,  
Professor of Department of Mechanical Engineering,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5174-3224>  
E-mail: [horobets.vs@knuutd.edu.ua](mailto:horobets.vs@knuutd.edu.ua)

**SHKVYRA VOLODYMYR**

Postgraduate, Department of Mechanical Engineering,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0006-1035-869X>  
E-mail: [Itit19845@gmail.com](mailto:Itit19845@gmail.com)

**MANOILENKO O. P., HOROBETS V. A., KNIAZIEV I. M., SHKVYRA V. V.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**DEVELOPMENT OF CLASSIFICATION OF LOOP THREAD TAKE-UP  
MECHANISMS FOR CHAIN STITCH SEWING MACHINES BASED  
ON THEIR STRUCTURAL ANALYSIS**

**Objective:** The purpose of this study is to create a systematized classification of loop take-up mechanisms (LTTU) according to their structural features and to analyze the use of known loop thread feeding mechanisms in sewing machines that implement chain stitches of various types (400, 500, 600 and 800). This analysis will contribute to the establishment of common features and differences in the structure of LTTU for different machine models, which is key for manufacturers and engineers when developing new products. In addition, an important stage is the development of structural diagrams of the mechanisms for feeding loopers

in chain stitch sewing machines manufactured by leading companies. This will allow visualization and analysis of the operation of these mechanisms using engineering analysis and determine their impact on the quality and performance of the machine. This approach contributes to the improvement of the quality and efficiency of the use of these sewing machines, which is extremely important in the modern textile industry.

**The methodology** includes the main stages of structural and topological analysis, namely: the formation of functional tasks, the separation of LTTU objects according to principle and functional features into elements (types of cams, links, thread feeders, thread guides, thread tension regulator, the presence of regulation of the law and the amount of thread feeding and etc.), carrying out a topological decomposition of LTTU and establishing relationships between them, without delving into their meaningful description, grouping by type and implementation of the stitch type.

**Results:** A classification of LTTU was developed taking into account their structure and the elements included in them, which can be used at the first stage of designing these mechanisms.

**The scientific:** novelty consists in the structural and topological analysis of LTTU of chain stitch sewing machines and the development of their classification. Analysis of the structure of the LTTU opens up the possibility to identify the elements that are designed to regulate the amount and law of the actual feeding of the thread. This is an important step that expands the range of research objects and leads to scientific improvement in further studies of LTTU. New possibilities of analysis of such elements make it possible to improve the operation of LTTU and optimize the thread feeding process, which is of great importance for increasing the efficiency and reliability of technological processes of chain stitch formation for various chain stitch sewing machines. These scientific results open perspectives for future research and may contribute to the emergence of new innovations in sewing machine engineering.

**Practical significance:** systematization of known LTTU, which facilitates the choice of their structure when designing chain stitch sewing machines of various classes. This classification can be used to take into account various factors when designing LTTU, such as the structure, the principle of operation of the loop thread feeding mechanisms according to the types of stitches. The above diagrams for threading the looper will be useful when threading the threads in chain stitch sewing machines.

**Keywords:** thread take-up mechanism; sewing machines; chain stitch; classification of loop thread take-up mechanisms; structures of loop thread take-up mechanisms; sewing machine design.

УДК 678.027.3

ПОЛІЩУК А. О.

Хмельницький національний університет, Україна

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ШНЕКОВОГО ЕКСТРУДЕРА 3D-ПРИНТЕРА, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ ГРАНУЛИ АБО ПОДРІБНЕНІ ЧАСТКИ ПОЛІМЕРУ В ЯКОСТІ ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ

**Мета.** Розробка конструкції шнекового екструдера 3D-принтера, який використовує гранули або подрібнені частки полімеру в якості вихідної сировини і забезпечує точний та стабільний процес екструзії полімеру для 3D-друку моделей.

**Методика.** У роботі використано метод системного, теоретичного та порівняльного аналізів. Теоретичні та практичні дослідження базуються на фундаментальних принципах і знаннях в області галузевого машинобудування, теплотехніки, а також враховують особливості та вимоги, пов'язані з переробкою полімерів, забезпечуючи ефективність цього процесу.

**Результати.** Проведено огляд способів виготовлення виробів та деталей та обґрунтовано адитивний метод як перспективний для створення виробів 3D-друком. Розглянуто різні типи та підходи до адитивного виробництва на основі екструзії та запропоновано використати шнекову екструзію в екструдері, що друкує гранулами чи подрібненими частками полімеру. Розроблено геометрію шнека, що оптимізує процес плавлення та подачі полімерних матеріалів, підвищуючи якість друку та скорочуючи час екструзії. Удосконалено конструкцію завантажувального бункера, яка забезпечує рівномірну та ефективну подачу гранул та подрібнених часток полімеру в матеріальний циліндр обертовим шнеком. Розроблено систему охолодження корпусу екструдера та завантажувального бункера. Спроектовано сопло з внутрішньою геометрією, що оптимізує потік розплавленого полімеру, підвищує точність друку. Встановлено розроблений шнековий екструдер замість екструдера, що друкує філаментом на 3D-принтер. Синхронізовано роботу основних елементів 3D-принтера з розробленим екструдером та оптимізовано режими їх роботи. Проведено процес друку тестових зразків та готових деталей з використанням розробленого шнекового екструдера.

**Наукова новизна.** Встановлено раціональні співвідношення між конструктивними параметрами елементів шнекового екструдера 3D-принтера, що дозволяють збільшити ефективність подачі полімеру, зменшити час друку та забезпечити більш рівномірне розплавлення і екструзію пластику.

**Практична значимість.** Розроблено екструдер з обертовим шнеком для 3D-принтера, що друкує гранулами чи частками подрібненого полімеру. Синхронізовано роботу запропонованого шнекового екструдера з елементами 3D-принтера, що забезпечило високу якість друку, надійність та загальну ефективність обладнання після удосконалення.

Використання гранул або подрібнених частин полімеру може бути значно дешевшим, ніж використання традиційного філаменту. Це робить 3D-друк більш доступним та економічно вигідним, особливо для великомасштабного виробництва. Використання перероблених матеріалів сприяє поліпшенню екологічної безпеки, дозволяє зменшити об'єм полімерних відходів. Шнековий екструдер дозволяє використовувати ширший спектр полімерних матеріалів, включаючи полімери, які можуть бути непридатними для філаментного друку. Розробка шнекового екструдера для 3D-принтера відкриває нові горизонти в практичному використанні 3D-друку, забезпечуючи більш економічно вигідні, екологічно сталі та інноваційні рішення для різних сфер застосування.

**Ключові слова:** полімерний матеріал; гранули; подрібнені частки; шнековий екструдер; шнек; 3D-принтер.

**Вступ.** Актуальні економічні умови чітко підкреслюють, що машинобудівна галузь становить фундаментальну основу розвитку будь-якої держави, оскільки відіграє ключову роль у прискоренні технологічного та наукового розвитку. Ця галузь надає необхідне

устаткування для інших секторів економіки, сприяючи тим самим їхньому оновленню та збільшенню капітальних активів. Окрім цього, машинобудівний сектор є однією з лідируючих галузей за обсягом виробництва, інвестиційною привабливістю та кількістю працівників, займаючи провідні позиції в структурі світової промисловості [1].

Світовий промисловий ринок рухається під впливом технологічних нововведень у машинобудівній галузі та прогресу в управлінні виробничими процесами. Виробничі підприємства інтенсифікують зусилля з метою розширення виготовлення високотехнологічного обладнання, інтегруючи останні технологічні досягнення. Машинобудування відіграє ключову роль у розвитку інших секторів економіки, надаючи необхідне устаткування та технології, що варіюються від виробництва споживчих товарів до спеціалізованого обладнання. Це включає забезпечення обладнання галузей, таких як гірничодобувна промисловість, легка промисловість, енергетика, аграрний сектор, медицина, будівельна індустрія тощо [2, 3].

Основною задачею галузевого машинобудування є створення новітнього устаткування. Розробка такого обладнання є актуальною задачею, оскільки вона стимулює технологічний розвиток та інноваційні процеси в промисловості. Це дозволяє компаніям підвищувати ефективність виробництва, знижувати витрати та оптимізувати робочі процеси. Оновлення технічного парку допомагає впроваджувати передові методи виробництва, зокрема автоматизацію та роботизацію, що є ключовими факторами у забезпеченні конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Багато в чому ефективність новітнього обладнання залежить від способів його виготовлення, оскільки кожен аспект процесу виробництва впливає на якість, надійність та ефективність кінцевого продукту. Використання передових технологій і матеріалів у процесі виготовлення забезпечує високу точність, тривалий термін служби та оптимальну продуктивність обладнання. Сучасні способи виготовлення обладнання мають вирішальне значення для його загальної ефективності та конкурентоспроможності на ринку. Підходи до виробництва, які орієнтовані на інновації, якість та сталість, є ключовими у створенні високоефективного та надійного обладнання [4, 5].

**Постановка завдання.** Розробити шнековий екструдер, який використовує гранули або подрібнені частки TPU, PLA, ABS тощо як вихідну сировину та забезпечити його сумісність з існуючими конструкціями 3D-принтерів.

**Результати дослідження.** На сьогоднішній день існують різні способи виготовлення виробів. Провівши аналіз технічної літератури [6–9], їх можна розділити на три групи. Класифікація способів виготовлення виробів та деталей представлена на рис. 1.

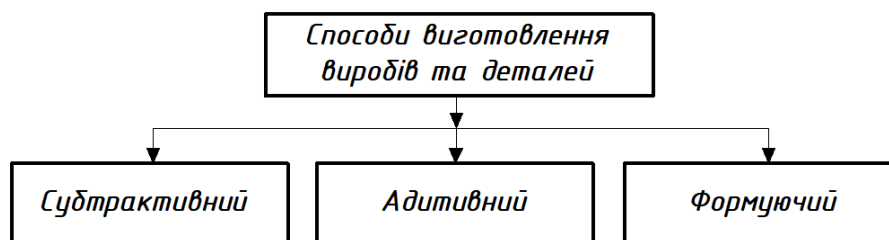


Рис. 1. Класифікація способів виготовлення виробів і деталей

Субтрактивний, адитивний та формуючий методи виробництва представляють собою різні підходи до створення фізичних об'єктів. Кожен з них має свої особливості та застосування.

Метод субтрактивного виробництва передбачає видалення матеріалу із заготовки для досягнення потрібної форми. Типові приклади субтрактивного виробництва включають

фрезерування, токарну обробку, свердління, шліфування та інші види механічної обробки. Перевага цього методу полягає у високій точності та якості поверхні, що обробляється. Він також часто супроводжується значними відходами матеріалу та обмеженнями у складності форми готового виробу.

Метод адитивного виробництва (3D-друк) включає послідовне накладання матеріалу шар за шаром для створення об'єкта. Він, зазвичай, використовує пластик, метал, кераміку або інші матеріали у вигляді порошку, смоли, ниток тощо. Адитивне виробництво дозволяє створювати складні геометричні форми з високою ступеню індивідуалізації, що є недосяжним для більш традиційних методів. Проте, цей метод може мати обмеження щодо якості поверхні та механічних властивостей виробів.

Метод формуючого виготовлення виробів включає створення об'єктів шляхом впливу робочого інструменту на матеріал у м'якому або рідкому стані для його формування в потрібну конфігурацію. Формуючі методи включають лиття під тиском, вакуумне формування, лиття з використанням форм, екструзію тощо. Ці методи дозволяють здійснювати масове виробництво виробів із стабільними розмірами та властивостями. Однак, вони часто вимагають значних витрат на виготовлення прес-форм та обмежують можливості їх зміни без додаткових затрат.

Для розробки шнекового екструдера 3D-принтера, що використовує гранули чи подрібнені частки полімеру було вибрано адитивний спосіб виготовлення виробів та деталей.

При субтрактивному виробництві виникає більша кількість відходів, ніж при адитивному. Проте при адитивному виробництві, в процесі виготовлення виробів за допомогою 3D-друку, утворюються полімерні відходи. Основними типами полімерних відходів, що виникають у цьому процесі, можуть виступати: невдало надруковані деталі через неправильну форму чи друк з дефектами; підтримуючі структури, які необхідні для стабілізації деталей під час друку та які в подальшому видаляються; підложки та краї першого шару, необхідні для виключення деформації та відлипання деталі від платформи 3D-принтера тощо. Відходи пластику ABS, що утворилися в процесі 3D-друку деталей та виробів приведені на рис. 2.



Рис. 2. Відходи пластику ABS, що утворилися під час 3D-друку

На сьогодні, основним матеріалом, який використовується для 3D-друку методом FDM, є мононитка. За останні кілька років 3D-принтери стали дуже популярними, і мононитки стали основним витратним матеріалом для цієї технології. Мононитками легко користуватися і зберігати. Однак, окрім полімерних ниток, для FDM 3D-друку також використовують інші види витратних матеріалів. Наприклад, гранули або дрібні частки полімерного матеріалу можуть бути альтернативою. У більшості випадків гранули є вихідним матеріалом для

виробництва пластикових виробів за допомогою ливарного обладнання. Щодо мононитки, гранули є початковим матеріалом для її виробництва.

Виготовлення мононитки із гранул збільшує вартість витратного матеріалу та, відповідно, вартість виробів, виготовлених за допомогою 3D-друку, у порівнянні з використанням гранул або подрібнених часток пластику.

3D-друк гранулами має ряд переваг, таких як більша швидкість друку та зменшення вартості готових виробів. Однак цей підхід технологічно складніший. Навіть якщо гранули добре ущільнені, між ними завжди існують повітряні проміжки, які потрапляють в сопло 3D-принтера разом із розплавленим полімером і можуть порушити однорідність шару. Рівномірність подачі такого матеріалу також залежить від конструкційних особливостей механізму подачі, форми гранул та їх розмірів [10]. Усі ці аспекти необхідно враховувати при проектуванні шнекового екструдера. Наразі, цей вид принтерів знаходиться на стадії розробки та потребує експериментальних досліджень [11–16].

У майбутньому 3D-друк полімерними гранулами чи подрібненими полімерними відходами у промисловості стане конкурентоспроможним порівняно з іншими методами 3D-друку та видами витратних матеріалів.

Однією з найпоширеніших форм адитивного виробництва та форм 3D-друку є використання методів екструзійного осадження матеріалів, відомих як Fused Deposition Modeling (FDM) або Fused Filament Fabrication (FFF) [13, 17]. Цей процес включає подачу термопластичного полімеру через екструдер, що нагрівається та який точно наносить розплавлений матеріал шар за шаром на робочу платформу для створення тривимірного об'єкта.

Перевагою FDM-технології є її відносна простота та доступність, що робить її популярною серед користувачів. FDM-принтери підтримують велику кількість полімерних матеріалів, таких як PLA, ABS, PETG, TPU, і навіть спеціалізованих композитних матеріалів, що вміщують частки: деревини; металу (мідь, сталь, бронза), вуглецевих та скляних волокон [18, 19].

Однак, існують деякі обмеження, пов'язані з FDM-друком, такі як нижча точність деталізації порівняно з іншими адитивними технологіями, такими як стереолітографія (SLA) або селективне лазерне спікання (SLS) [20]. Також FDM може стикатися з проблемами при друку перекриття та мостів без підтримки матеріалу, хоча сучасні програмні рішення частково допомагають подолати ці проблеми.

Загалом, метод екструзійного осадження матеріалів в адитивному виробництві продовжує еволюціонувати, пропонуючи більшу гнучкість, якість та ефективність для широкого спектра застосувань.

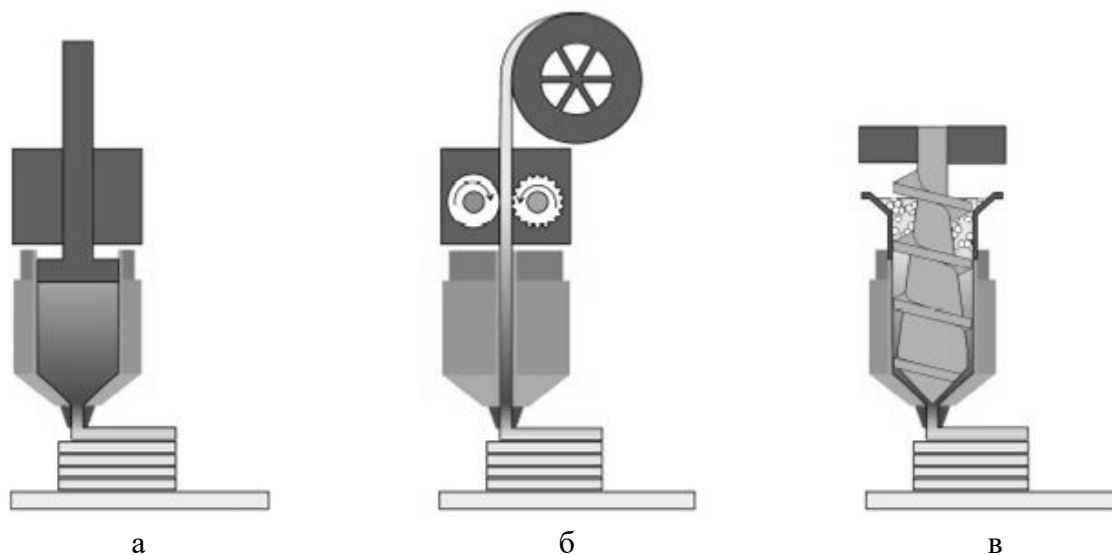
В першу чергу для того, щоб розробити конструкцію екструдера 3D принтера для друку виробів гранулами чи подрібненими полімерами, необхідно вивчити процес шнекової екструзії.

Адитивне виробництво на основі екструзії може використовувати різні механізми для подачі полімерного матеріалу: плунжерний (поршневий); філаментний (нитка-основа) та шнековий (рис. 3) [16, 21, 22]. Кожен з цих типів має свої особливості та призначення.

При плунжерному методі (Piston Extrusion) матеріал (зазвичай глина або інший пастоподібний матеріал) поміщається у відсік, з якого він витісняється через сопло під тиском плунжера або поршня (рис. 3,а). Цей метод наприклад використовується для виробництва керамічних деталей у промисловості або в мистецтві. Він дозволяє контролювати кількість матеріалу, що витісняється, і є ефективним для матеріалів з високою в'язкістю.

Одним з найпоширеніших методів 3D-друку є метод FFF з використанням нитки-основи (рис. 3,б). У цьому процесі термопластичний філамент змотується з котушки і

подається через екструдер, що нагрівається. В ньому він розплавляється, видавлюється через сопло на якому встановлено нагрівальний елемент і осаджується шар за шаром на платформі принтера. Метод FFF підходить для великої кількості пластиків, включаючи PLA, ABS, TPU та інші [23].



Джерело: [21].

Рис. 3. Різні типи та підходи до адитивного виробництва на основі екструзії:  
а – плунжерний; б – філаментний; в – шнековий

При шнековому методі (Screw Extrusion) використовується шнек для подачі матеріалу через сопло (рис. 3,в). Вони часто використовуються в промислових 3D-принтерах для обробки великої кількості матеріалу, включаючи високов'язкі та композиційні матеріали. Обертовий шнек (рис. 3,в) застосовується для забезпечення безперервної подачі матеріалу та створення достатньо високого тиску в камері екструдера, що, в свою чергу, збільшує швидкість та роздільну здатність друку в порівнянні з виготовленням методом наплавлення (FDM) (рис. 3,б) та процесами 3D-друку на основі поршня (рис. 3,а). Екструзія з обертовим шнеком забезпечує кращий контроль над потоком матеріалу і дозволяє більш точно дозувати його кількість, порівняно з екструзією з використанням філаменту. Крім того, обертовий рух шнеку розширює змішувальні можливості системи, тим самим поліпшуючи однорідність матеріалу, що екструдується. Таким чином, це дозволяє обробляти більш широкий спектр сировини та переробляти вторинний полімерний матеріал під час екструзії.

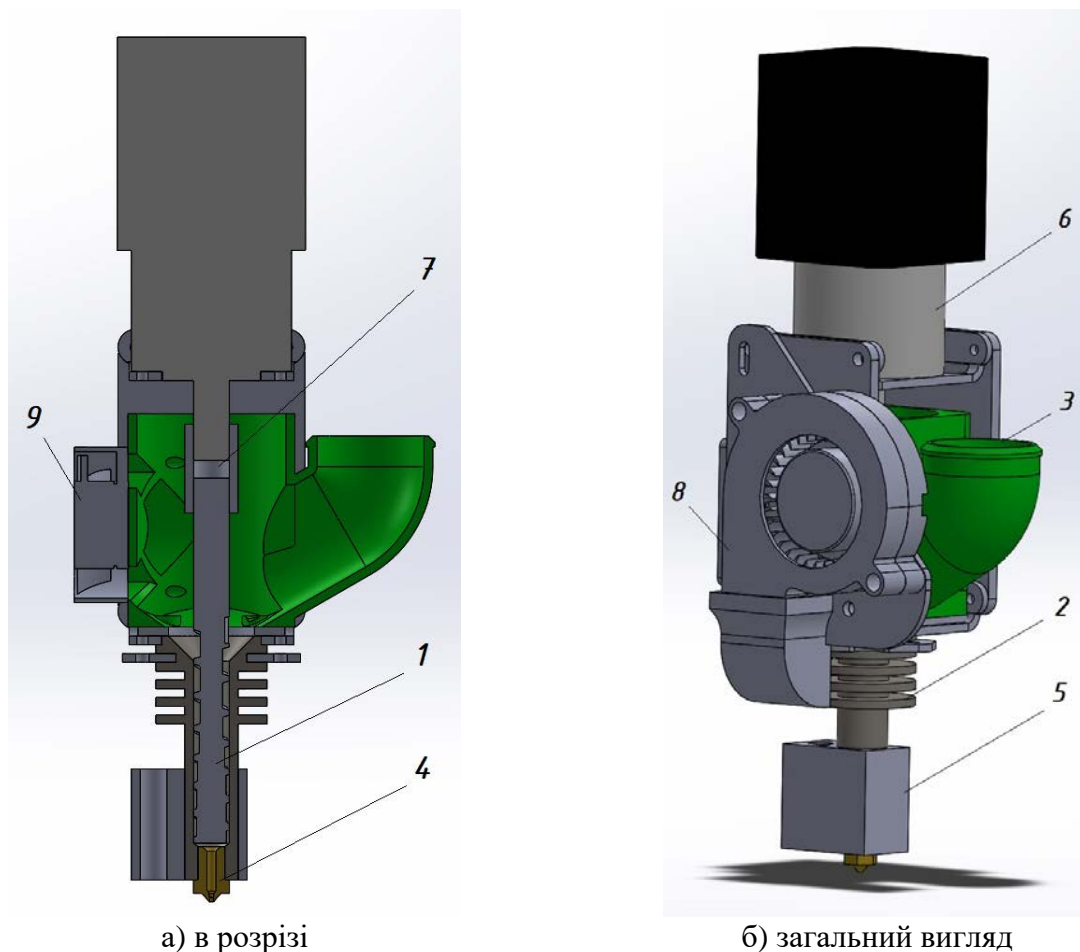
Кожен з цих методів екструзійного адитивного виробництва має свої переваги та обмеження та може бути вибраний в залежності від матеріалу, який потрібно переробити та вимог до кінцевого виробу.

В екструдері 3D-принтера, що друкує гранулами або подрібненими частками полімеру в якості робочого органу було вибрано шнек. Було спроектовано та виготовлено експериментальний екструдер з використанням обертового шнеку.

Першим етапом при його створенні була розробка моделі в програмному середовищі SolidWorks [24, 25]. 3D-модель спроектованого екструдера приведена на рис. 4.

Створення 3D-моделі шнекового екструдера для 3D-принтера в програмному середовищі SolidWorks включало моделювання основних елементів: шнека; матеріального

циліндра; завантажувального бункера; сопла; нагрівального блоку; механізму приводу шнека та вентиляторів охолодження [26, 27, 28].



а) в розрізі

б) загальний вигляд

Легенда: 1 – шнек; 2 – матеріальний циліндр; 3 – завантажувальний бункер; 4 – сопло; 5 – нагрівальний блок; 6 – мотор-редуктор; 7 – зєднувальна муфта; 8 – вентилятор обдуву охолоджувальних ребер; 9 – вентилятор обдуву завантажувального бункера.

Рис. 4. Шнековий екструдер

Центральною частиною екструдера є шнек, який відповідає за переміщення матеріалу із завантажувального бункера в зону плавлення, а в подальшому розплавленого полімеру через сопло на платформу 3D-принтера. Тому моделювання шнека екструдера у SolidWorks вимагало точності, оскільки шнек є ключовою частиною екструдера, що відповідає за подачу та однорідне перемішування матеріалу.

Процес моделювання даного робочого органу включав наступне. Першим кроком було визначення основних параметрів шнека, таких як діаметр, крок гвинта, довжина та глибина каналів. Ці параметри впливають на ефективність шнека при виконанні операції переміщення та розплавлення полімеру. У SolidWorks моделювання шнеку розпочиналося зі створення основного профілю гвинта, який може бути виконаний за допомогою інструменту «Helix/Spiral». Профіль спіралі визначає форму та розташування спіральної каналів шнека. Після створення гвинта, наступним кроком було моделювання фактичного тіла шнека, яке виконувалося за допомогою інструменту «Sweep» з використанням основного профілю спіралі.

До моделі додавалися додаткові деталі, такі як кінець шнека, зони подачі та розплавлення, а також інші функціональні елементи, які можуть знадобитися в залежності від застосування. За допомогою SolidWorks було виконано аналіз, з метою переконатися, що шнек ефективно виконує свої функції. Він включав аналіз механічних напружень, теплового розподілу та динаміки руху матеріалу. Після завершення моделювання та оптимізації, готова модель шнека була підготовлена для виробництва, з урахуванням специфіки виготовлення (наприклад, обробка на токарному чи фрезерному станку).

Створення моделі шнека в SolidWorks дозволило отримати детальне уявлення про його конструкцію та функціональність, що є критично важливим для розробки ефективних та надійних шнекових екструдерів.

В матеріальному циліндрі екструдера розміщується шнек і обладнання для його приводу. Він включає монтажні отвори, вхід для подачі твердого матеріалу та вихід для розплавленого полімеру. В SolidWorks для моделювання корпусу використовувалися інструменти екструзії. Починалося моделювання зі створення циліндричної форми з потрібним діаметром та довжиною. Верхня частина циліндра оснащується охолоджуючими ребрами, які допомагають розсіювати тепло, що генерується під час екструзії. Моделювання дозволило визначити розміри та інтервали між ребрами, щоб оптимізувати процес охолодження. Це включало врахування висоти, ширини та кількості ребер. За допомогою аналітичних інструментів SolidWorks було проведено тепловий аналіз для оцінки ефективності охолоджуючих ребер у розсіюванні тепла. Модель враховує, як циліндр з охолоджуючими ребрами інтегрується з шнеком та іншими компонентами екструдера, такими як завантажувальний бункер, нагрівальний блок та механізми кріплення. Моделювання матеріального циліндра з охолоджуючими ребрами у SolidWorks дозволило не тільки точно відтворити його фізичні характеристики, але й довело, що циліндр буде ефективно виконувати свої функції в межах системи шнекового екструдера.

Створення моделі завантажувального бункера у програмному середовищі SolidWorks включало ряд ключових етапів, виходячи з функціональних вимог та його конструктивних характеристик. Зазвичай, початок проектування включав створення основної форми бункера. Це міг бути прямокутний або циліндричний завантажувальний контейнер. В SolidWorks це можна зробити за допомогою інструментів екструзії та обертання для створення основної геометрії. Додавалися вхідні та вихідні отвори в бункері потрібної форми та розмірів. Передбачені кріпильні елементи для інтеграції бункера з іншими частинами 3D-принтера. За допомогою SolidWorks було здійснено аналіз напружень, динаміки гранульованих матеріалів всередині бункера, щоб переконатися в його ефективності та надійності. Проведено оптимізацію дизайну для зниження вартості виготовлення та поліпшення функціональних характеристик. Процес моделювання в SolidWorks дозволив не тільки візуалізувати дизайн завантажувального бункера, але й провести важливі аналітичні розрахунки, перш ніж перейти до його фактичного виготовлення.

Моделювання сопла в матеріальному циліндрі шнекового екструдера в програмному середовищі SolidWorks відбувалося наступним чином [29]. Спочатку було створено його 3D-модель. Модель сопла включала в себе компоненти, такі як діаметр сопла, його форма і різні параметри, які впливають на процес виходу матеріалу із нього. Сопло було розміщено в нижній частині матеріального циліндра шнекового екструдера. Це забезпечило те, що розплавлений полімер буде подаватися на робочу платформу 3D-принтера рівномірно. Процес моделювання дозволив створити та інтегрувати сопло в матеріальний циліндр шнекового екструдера в SolidWorks, забезпечуючи оптимальну роботу екструдера і якісний вихід матеріалу.

Моделювання нагрівального блоку із встановленим нагрівальним елементом для шнекового екструдера в SolidWorks вимагає уваги до деталей, що стосуються теплопровідності, механічної міцності та інтеграції з іншими частинами екструдера. Нагрівальний блок, як правило, є металевою деталлю, що відповідає за рівномірний розподіл тепла. У SolidWorks цю деталь можна створити через вибір відповідного металу. В моделі використано алюміній через його теплопровідні властивості. Було вибрано керамічний нагрівальний елемент. Для його встановлення було змодельовано канал в нагрівальному блоці. У SolidWorks з цією метою було створено відповідний отвір у ньому. Передбачено теплову ізоляцію для запобігання передачі тепла на інші частини екструдера, зокрема на завантажувальний бункер. В нагрівальному блоці передбачено місце для встановлення термістора для контролю температури.

Модель враховує, як нагрівальний блок інтегрується з шнековим механізмом та іншими компонентами екструдера, включаючи монтажні отвори та з'єднання.

За допомогою SolidWorks було проведено аналіз теплового розподілу, щоб переконатися, що тепло розподіляється рівномірно і не впливає на роботу екструдера та не передається до бункера в якому знаходяться гранули чи подрібнені частки полімеру.

Механізм приводу шнека включав планетарний мотор-редуктор, передавальний елемент (муфту), які приводять шнек у рух. У SolidWorks ці елементи моделювалися з врахуванням їх реальних розмірів та функціонального призначення, а також взаємодії з завантажувальним бункером, матеріальним циліндром та шнеком. Використання функцій SolidWorks для симуляції руху та аналізу, дало змогу переконатися, що мотор-редуктор синхронізований із шнековим механізмом і працює ефективно та забезпечує достатній крутний момент і витримує механічні навантаження під час роботи.

Інтеграція із бібліотеки готових моделей вентиляторів для повітряного обдуву охолоджуючих ребер матеріального циліндра шнекового екструдера та завантажувального бункера в SolidWorks вимагала уваги до деталей розташування та ефективності охолодження. Вентилятори були розташовані таким чином, щоб потік повітря був максимально ефективний для охолодження ребер та полімерного матеріалу у бункері. Це включало врахування кута нахилу та відстані вентиляторів від ребер та полімерного матеріалу. Було використано інструменти SolidWorks для симуляції та аналізу потоків повітря, що генеруються вентиляторам, для переконання у ефективності охолодження.

Інтеграція готових моделей вентиляторів для охолодження в SolidWorks дозволила оптимізувати конструкцію для ефективного охолодження, забезпечуючи стабільність температури та підвищення ефективності роботи шнекового екструдера.

Таким чином створення моделі шнекового екструдера за допомогою програмного продукту дало змогу візуалізувати дизайн, провести різноманітні розрахунки, щоб забезпечити його ефективність та надійність перед виготовленням.

В подальшому, використовуючи отриману технічну документацію та креслення, було проведено виготовлення спроектованих та підбір стандартних деталей, вибір елементів приводу, нагрівального блоку та системи охолодження. Загальний вигляд шнекового екструдера представлено на рис. 5.

Розроблений екструдер було встановлено замість екструдера, що друкує філаментом на 3D-принтер Anycubic Mega S з технологією друку FDM китайської компанії Anycubic [30]. Загальний вигляд даного принтера приведено на рис. 6.

Anycubic Mega S – це великий FDM-принтер з просторою площадкою для друку, що дозволяє створювати великі об'єкти або декілька дрібніших об'єктів одночасно. Цей принтер оснащений металевою конструкцією, яка забезпечує стабільність і точність друку, а також має

платформу для друку, що нагрівається. Наявність нагріву допомагає запобігати деформації виробів і підвищує адгезію першого шару.

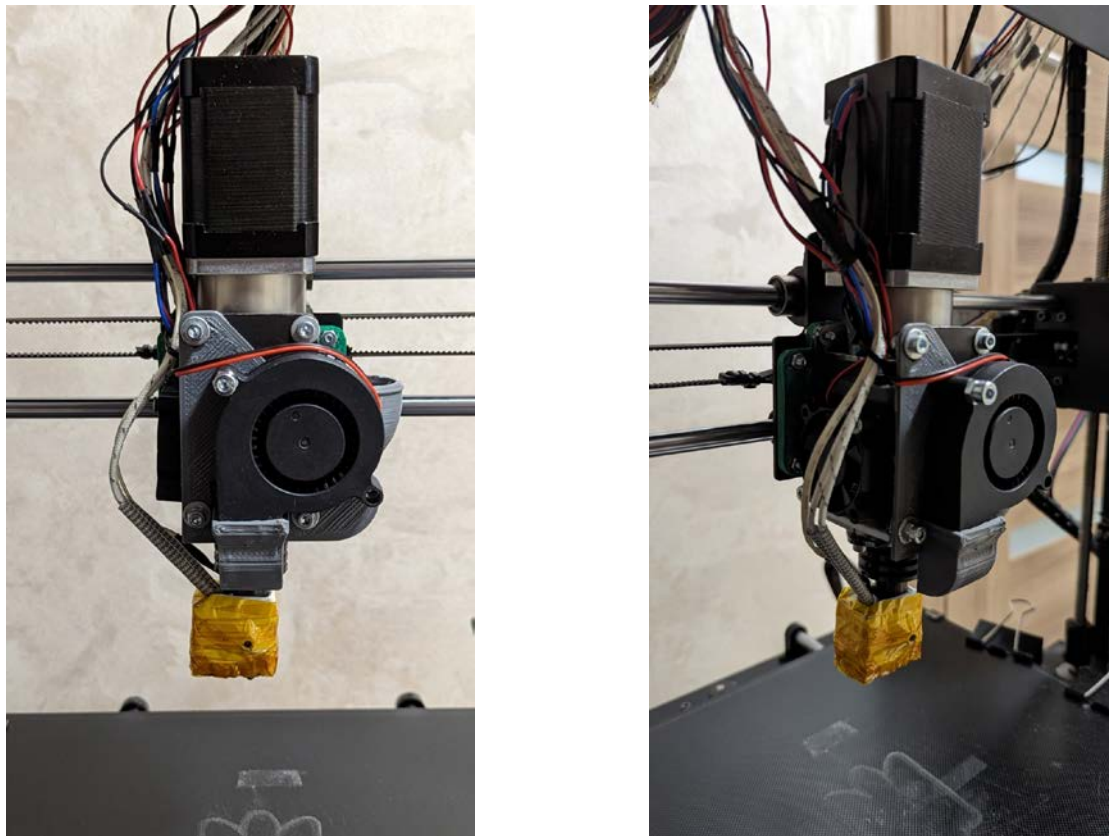


Рис. 5. Загальний вигляд шнекового екструдера



Рис. 6. Загальний вигляд 3D принтера Anycubic Mega S

Принтер також має інтуїтивно зрозумілий сенсорний екран для керування процесом друку та підтримує широкий спектр матеріалів для друку, включаючи PLA, ABS, TPU, що

будуть використовуватися при дослідженнях. Ця модель популярна серед користувачів завдяки своїй надійності та високій якості друку.

Технічні характеристики базової моделі 3D-принтера Anycubic Mega S приведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Технічні характеристики 3D принтера Anycubic Mega S**

№	Параметр	Величина
1	Технологія друку	FDM
2	Кількість екструдерів	1
3	Тип екструдера	Короткий екструдер Titan
4	Кількість сопел	1
5	Область друку, мм	210x210x205
6	Швидкість друку, мм/с	20–100
7	Діаметр сопла (мм)	0,4
8	Товщина шару, мкм	50-300
9	Точність позиціонування, мм:	X/Y 0.0125; Z 0.002
10	Діаметр пластикової нитки	1,75
11	Максимальна температура друку, °C	260
12	Наявність столу, що підігрівається	Так
13	Максимальна температура столу, °C	110
14	Основний матеріал	TPU, PLA, ABS, NIPS та інші
15	Робота в мережах	110 V/ 220 V AC 50-60 Hz, 12 V DC
16	Максимальна споживана потужність, Вт	100–240
17	Софт (Slice)	Cura, Simplify3D, Repetier-HOST
18	Типи файлів	.STL, .OBJ, .DAE, .AMF.
19	Операційна система	WindowsXP, Win7, Win8, Win 10, Linux, Mac OS
20	Вага, кг	11
21	Габарити, мм	405x410x453

При заміні стандартного філаментного екструдера на шнековий екструдер, який друкує гранулами чи подрібненими частками полімеру, було синхронізовано роботу кількох ключових елементів 3D-принтера.

Оскільки шнековий екструдер працює з гранулами або подрібненими частками, а не з філаментом, систему подачі матеріалу було переоптимізовано для роботи з ними.

Шнекові екструдери вимагають точного контролю температури для ефективного плавлення гранул. Температурні режими можуть відрізнятися від тих, що використовуються для філаментних екструдерів, тому систему керування температурою було адаптовано під них.

В зв'язку із використанням потужнішого крокового двигуна для приводу шнека та більших його масогабаритних характеристик було внесено корективи для механізмів приводу та крокових двигунів переміщення екструдера по координатах X, Y, Z.

Програмне забезпечення принтера, включаючи слайсер та інтерфейс керування, було оновлено та адаптовано, щоб вони могли адекватно обробляти параметри друку шнекового екструдера, включаючи швидкість екструзії, температуру та інші спеціальні налаштування.

Загальний вигляд 3D-принтера Anycubic Mega S із встановленим шнековим екструдером представлено на рис. 7.

В подальшому, було проведено налаштування оптимальних параметрів 3D принтера із встановленим шнековим екструдером та друк тестового кубика подрібненими частками

пластику TPU (рис. 8,а) [31]. Його друк відбувався з дефектами. Дефекти друку тестового кубика із пластику TPU приведено на рис. 9.

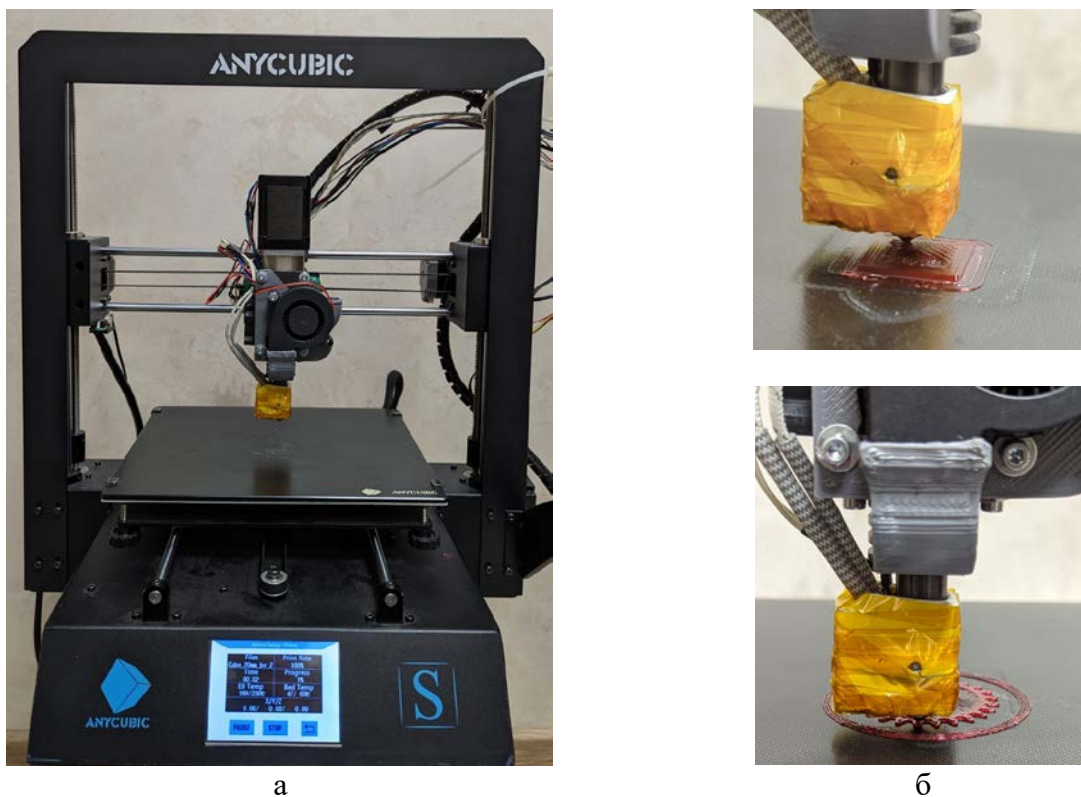


Рис. 7. 3D-принтер Anycubic Mega S із встановленим шнековим екструдером:  
а – загальний вигляд; б – процес друку деталей (тестовий кубик, шестерня)

Аналіз цих дефектів допоміг ідентифікувати кілька ключових проблем, які потребували уваги під час подальшої оптимізації процесу друку. Спостерігались варіації в товщині шарів, що могло свідчити про нестабільність подачі матеріалу або недостатньо точне налаштування висоти шару. Частини кубика мали слабке зчеплення між шарами, що вказувало на потенційні проблеми з температурним режимом під час друку. Деякі області кубика мали нерівномірне або неповне заповнення, що могло бути пов'язано з неправильними налаштуваннями швидкості друку або руху екструдера. Було виявлено зміщення деяких шарів відносно один одного, що могло бути результатом неправильної калібрування осей принтера або нестабільності роботи екструдера.



Рис. 8. Матеріал для 3D-друку: а – подрібнені частки пластику TPU;  
б – мононитка з пластику PLA

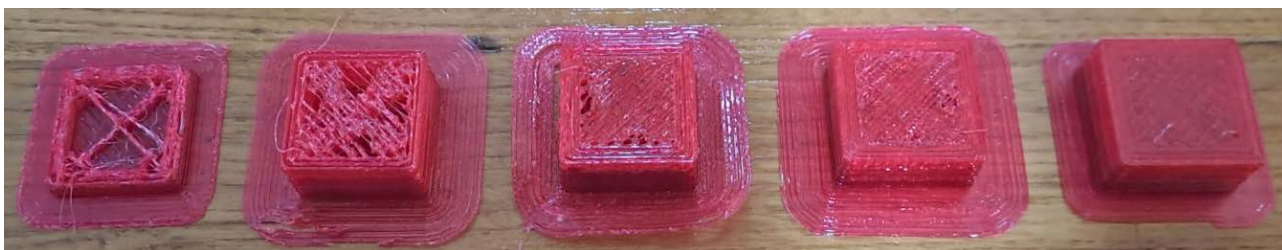


Рис. 9. Дефекти 3D-друку тестового кубика

На основі цих спостережень та дефектів було скореговано параметри друку. В результаті цього було надруковано тестовий кубик із параметрами, що задовольняли (рис. 10,а). Паралельно було надруковано тестовий кубик з пластику PLA (рис. 8,б) на 3D-принтері Anycubic Mega S з філаментним екструдером (рис. 10,б).



а



б

Рис. 10. Надрукований тестовий кубик: а – подрібнені частки пластику TPU; б – монопітка пластику PLA

Отриманий зразок тестового кубика, надрукованого подрібненими частками пластику TPU, підтвердив працездатність розробленого шнекового екструдера. Порівняння кубика з TPU з кубиком PLA показало хорошу точність розмірів. Виявлено, що кубик надрукований шнековим екструдером, має краще зчеплення між шарами, що свідчить про більш ефективне плавлення та злиття полімеру під час друку.

Для порівняння також було надруковано деталь «шестерня» із зазначених вище матеріалів (рис. 11).



а



б



в

Рис. 11. Деталь «шестерня»: а – пластик PLA (філаментний екструдер); б – TPU (шнековий екструдер); в – вид деталей в торець

Друк шестерні на 3D-принтері зі шнековим екструдером подрібненими частками полімеру підтвердив можливість виготовлення виробів та деталей для потреб галузевого машинобудування та легкої промисловості.

**Висновки.** Розроблений шнековий екструдер для 3D-принтера, що друкує гранулами або подрібненими частками полімеру є значним кроком у розвитку адитивних технологій. Він забезпечує нові можливості для друку різноманітними полімерними матеріалами. Екструдер

дозволяє ефективно використовувати полімерні відходи для створення готових виробів та деталей методом 3D-друку. Дана розробка демонструє поліпшену якість друку завдяки стабільній та рівномірній подачі матеріалу, що важливо для отримання високоякісних друківаних виробів. Завдяки розробленому екструдеру відкривається шлях для подальших інновацій у сфері 3D-друку, зокрема у вдосконаленні технологій переробки та використання полімерних та композиційних матеріалів.

В цілому, дана розробка є значним досягненням, що сприяє розвитку адитивних технологій, забезпечуючи високу ефективність, економічність та екологічну сталість у виробництві.

### References

1. Lekhovitser, V. O. (2016). Osoblyvosti rozvytku mashynobudivnoi haluzi v suchasnykh umovakh [Features of the development of the machine-building industry in modern conditions]. *Efektivna ekonomika = Effective Economy*, No. 5 [in Ukrainian].
2. Ishchuk, S. O. et al. (2022). Rozvytok mashynobuduvannya v Ukraini: problemy ta shliakhy yikh vyryshennia: monohrafiia [Development of mechanical engineering in Ukraine: problems and ways to solve them: monograph]. State University "Institute of Regional Studies named after M.I. Dolishnyi National Academy of Sciences of Ukraine"; of science editor, Doctor of Economics, prof. S. O. Ishchuk. Lviv. 137 p. [in Ukrainian].
3. Smerichevskiy, S. F., Kryvoviazuk, I. V., Raicheva, L. I., Smerichevska, S. V. (2017). Research on the development of the machine-building industry of Ukraine: state and prospects – multi-authored monograph. Latvia: Izdevnieciba "Baltija Publishing". 200 p.
4. Hurin, V. A., Vostrikov, V. P., Kuzmych, L. V. (2019). Osnovy promyslovykh tekhnolohii i materialoznavstva: navch. posibnyk [Basics of industrial technologies and materials science: teaching. manual]. Rivne: NUVHP. 310 p. [in Ukrainian].
5. Tebenko, V. M. (2014). Ekonomika ta orhanizatsiia innovatsiinoi diialnosti: navch. posibnyk [Economy and organization of innovative activity: training. manual]. 1 edition. Melitopol: Publishing and Printing Center "Lux". 302 p. [in Ukrainian].
6. Davim, J. P. (2011). Modern machining technology. A practical guide. Woodhead Publishing Limited. 242 p.
7. Pupan, L. I. (2023). Postprotsesy adytyvnykh tekhnolohii: navch. posibnyk dlia studentiv spetsialnosti "Prykladna mekhanika" dennoi, zaochnoi ta dystantsiinoi form navchannia [Post-processes of additive technologies: teaching. manual for students of the "Applied Mechanics" specialty of full-time, correspondence and distance education]. Kharkiv: NTU "KhPI". 91 p. [in Ukrainian].
8. Tutashynskiy, V. I. (2021). Tekhnolohii suchasnoho vyrobnytstva: navchalnyi posibnyk [Technologies of

### Література

1. Леховіцер В. О. Особливості розвитку машинобудівної галузі в сучасних умовах. *Ефективна економіка*. 2016. № 5.
2. Розвиток машинобудування в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення: монографія. ДУ "Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України"; наук. редактор д.е.н., проф. С. О. Іщук. Львів, 2022. 137 с.
3. Smerichevskiy S. F., Kryvoviazuk I. V., Raicheva L. I., Smerichevska S. V. Research on the development of the machine-building industry of Ukraine: state and prospects – multi-authored monograph. Latvia: Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2017. 200 p.
4. Гурін В. А., Востріков В. П., Кузьмич Л. В. Основи промислових технологій і матеріалознавства: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2019. 310 с.
5. Тебенко В. М. Економіка та організація інноваційної діяльності: навч. посібник. 1 вид. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр "Люкс", 2014. 302 с.
6. Davim J. P. Modern machining technology. A practical guide. Woodhead Publishing Limited, 2011. 242 p.
7. Пупань Л. І. Постпроцеси адитивних технологій: навч. посібник для студентів спеціальності "Прикладна механіка" денної, заочної та дистанційної форм навчання. Харків: НТУ "ХПІ", 2023. 91 с.
8. Туташинський В. І. Технології сучасного виробництва: навчальний посібник. К.: Конві Прінт, 2021. 155 с.

modern production: educational manual]. Kyiv: Conway Print. 155 p. [in Ukrainian].

9. Tsybulenko, V. O., Pasichnik, V. A., Vorontsov, B. S. (2022). Perspektyvy vykorystannia hibrydnoho addytyvno-subtraktyvnoho vyrobnytstva [Prospects for the use of hybrid additive-subtractive production]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu = Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, No. 1, P. 34–41 [in Ukrainian].

10. ZD druk polimernoїu hranuloїu [ZD printing with a polymer granule]. URL: <http://surl.li/nnrq> [in Ukrainian].

11. Polishchuk, O., Zozulia, P., Polishchuk, A., Maidan, P. (2020). Development and research of equipment for processing of granulated polymeric materials via 3d printing for the needs of light industry. *Fibres and Textiles*, № 4, P. 75–80.

12. Shaik, Y. P., Schuster, J., Shaik A. (2021). A Scientific Review on Various Pellet Extruders Used In 3D Printing FDM Processes. *Open Access Library Journal*, Vol. 8. DOI: 10.4236/oalib.1107698.

13. Kuclourya, T., Monroy, R., Castillo, M., Baca, D., Ahmad, R. (2022). Design of a hybrid high-throughput fused deposition modeling system for circular economy applications. *Clean Technologies and Recycling*, 2(4), P. 170–198. DOI: 10.3934/ctr.2022010.

14. Krishnanand; Taufik, M. (2022). Extruder Design in Pellets Operated 3D Printers: A Review. *Chapter*, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-73495-4\_45.

15. Harris, M., Arif, Kh., Potgieter, J. (2021). Partial Polymer Blend for Fused Filament Fabrication with High Thermal Stability. *Polymers*, 2021. DOI: 10.3390/polym13193353.

16. Krishnanand; Soni, S., Nayak, A., Taufik, M. (2021). Development of graphics user interface (GUI) for process planning in extrusion based additive manufacturing. *Materials Today Proceedings*, March 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.306.

17. Hu, T., Mikolajczyk, D., Pimenov, Yu., Gupta, M. K. (2021). Extrusion-Based 3D Printing of Ceramic Pastes: Mathematical Modeling and In Situ Shaping Retention Approach. *Materials*, № 14, P. 1–22, <https://doi.org/10.3390/ma14051137>.

18. Polishchuk, O. S., Polishchuk, A. O., Lisevich, S. P., Zalizetskyi, A. M., Melnyk, V. I. (2022). Vyhotovlennia vyrobiv ta detalei metodom 3D-druku z kompozytnykh nytok z vysokym vmistom metalu [Production of products

9. Цибуленко В. О., Пасічник В. А., Воронцов Б. С. Перспективи використання гібридного аддитивно-субтрактивного виробництва. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2022. № 1. С. 34–41.

10. 3D друк полімерною гранулою. URL: <http://surl.li/nnrq>.

11. Polishchuk O., Zozulia P., Polishchuk A., Maidan P. Development and research of equipment for processing of granulated polymeric materials via 3d printing for the needs of light industry. *Fibres and Textiles*. 2020. № 4. P. 75–80.

12. Shaik Y. P., Schuster J., Shaik A. A Scientific Review on Various Pellet Extruders Used In 3D Printing FDM Processes. *Open Access Library Journal*. 2021. Vol. 8. DOI: 10.4236/oalib.1107698.

13. Kuclourya T., Monroy R., Castillo M., Baca D., Ahmad R. Design of a hybrid high-throughput fused deposition modeling system for circular economy applications. *Clean Technologies and Recycling*. 2022. 2(4). P. 170–198. DOI: 10.3934/ctr.2022010.

14. Krishnanand; Taufik M. Extruder Design in Pellets Operated 3D Printers: A Review. *Chapter*. 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-73495-4\_45.

15. Harris M., Arif Kh., Potgieter J. Partial Polymer Blend for Fused Filament Fabrication with High Thermal Stability. *Polymers*. 2021. DOI: 10.3390/polym13193353

16. Krishnanand; Soni S., Nayak A., Taufik M. Development of graphics user interface (GUI) for process planning in extrusion based additive manufacturing. *Materials Today Proceedings*. March 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.306.

17. Hu T., Mikolajczyk D., Pimenov Yu., Gupta M. K. Extrusion-Based 3D Printing of Ceramic Pastes: Mathematical Modeling and In Situ Shaping Retention Approach. *Materials*. 2021. № 14. P. 1–22, <https://doi.org/10.3390/ma14051137>.

18. Поліщук О. С., Поліщук А. О., Лісевич С. П., Залізецький А. М., Мельник В. І. Виготовлення виробів та деталей методом 3D-друку з композитних ниток з високим

- and parts by 3D printing method from composite threads with a high metal content]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu = Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, № 3, Part 1, P. 104–110 [in Ukrainian].
19. Polishchuk, A., Polishchuk, O., Lisevich, S., Urbanyuk, E., Rubanka, M. (2023). Kompozytsiini sumishi na osnovi syntetychnykh polimeriv i napovniuvachiv ta obladnannia dlia 3D-druku nymy [Composite mixtures based on synthetic polymers and fillers and equipment for 3D printing with them]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu = Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, No. 2, P. 104–110 [in Ukrainian].
20. Yuran, A. F., Yavuz, İ. (2021). Industry 4.0 and Comparison Of 3D Printers. *Mühendis ve Makina*, P. 580–606. DOI: 10.46399/muhendismakina.910501.
21. Gonzalez-Gutierrez, J., Cano, S., Schuschnigg, S., Kukla, C., Sapkota, J., Holzer, C. (2018). Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives. *Materials*, 2018, 11, DOI: 10.3390/ma11050840.
22. Suwanpreecha, C., Manonukul, A. (2022). A Review on Material Extrusion Additive Manufacturing of Metal and How It Compares with Metal Injection Moulding. *Metals*, 2022, 12, <https://doi.org/10.3390/met12030429>.
23. Polishchuk, O. S., Zozulya, P. F., Polishchuk, A. O. (2017). Uzahalnena klasyfikatsiia filamentiv dlia 3D-druku [Generalized classification of filaments for 3D printing]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu = Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, No. 6, P. 51–59 [in Ukrainian].
24. Voroshchuk, V. Ya., Vitenko, T. M. (2021). Solidworks u zavdannakh 3D modeliuvannia ta inzhynirynhu tekhnichnykh system: navch. posibnyk [Solidworks in tasks of 3D modeling and engineering of technical systems. Education manual]. Ternopil: FOP Palyanitsa V.A. 164 p. [in Ukrainian].
25. Syrotynskiy, O. A. (2003). Osnovy avtomatyzatsii proektuvannia mashyn: navchalnyi posibnyk dlia studentiv vshchychykh navchalnykh zakladiv [Fundamentals of machine design automation: a study guide for students of higher educational institutions]. Rivne: UDUVHP. 252 p. [in Ukrainian].
26. Sokolsky, O. L., Mikulonok, I. O. (2020). Modeliuvannia obladnannia i protsesiv pereroblennia polimernykh materialiv metodom ekstruzii: monohrafiia [Modeling of equipment and processing processes of polymer materials by the extrusion method: monograph].
- вмістом металу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. № 3. С. 104–110.
19. Поліщук А., Поліщук О., Лісевич С., Урбанюк Є., Рубанка М. Композиційні суміші на основі синтетичних полімерів і наповнювачів та обладнання для 3D-друку ними. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. № 2, Ч. 1. С. 104–110.
20. Yuran A. F., Yavuz İ. Industry 4.0 and Comparison Of 3D Printers. *Mühendis ve Makina*. 2021. P. 580–606. DOI: 10.46399/muhendismakina.910501.
21. Gonzalez-Gutierrez J., Cano S., Schuschnigg S., Kukla C., Sapkota J., Holzer C. Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives. *Materials*. 2018. 11. DOI: 10.3390/ma11050840.
22. Suwanpreecha C., Manonukul A. A Review on Material Extrusion Additive Manufacturing of Metal and How It Compares with Metal Injection Moulding. *Metals*. 2022. 12. <https://doi.org/10.3390/met12030429>.
23. Поліщук О. С., Зозуля П. Ф., Поліщук А. О. Узагальнена класифікація філаментів для 3D-друку. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2017. № 6. С. 51–59.
24. Ворошчук В. Я., Вітенько Т. М. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем: навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
25. Сиротинський О. А. Основи автоматизації проектування машин: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Рівне: УДУВГП, 2003. 252 с.
26. Сокольський О. Л., Мікульонок І. О. Моделювання обладнання і процесів перероблення полімерних матеріалів методом екструзії: монографія. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 252 с.

- Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi. 252 p. [in Ukrainian].
27. Mikulonok, I. O., Sokolskyi, O. L., Sivetskyi, V. I., Radchenko, L. B. (2015). *Osnovy proektuvannia odnocherv'yachnykh ekstruderiv: navch. posib.* [Basics of designing single-worm extruders: training. manual]. Kyiv: NTUU "KPI". 200 p. [in Ukrainian].
28. Kuzyaev, I. M., Sviderskyi, V. A., Petukhov, A. D. (2016). *Modeliuvannia ekstruzii i ekstruderiv pry pererobtsi polimeriv: monohrafiia v 2 ch.* [Modeling of extrusion and extruders during processing of polymers: monograph in 2 hours]. Kyiv: NTUU "KPI"; Publishing House "Polytechnic". 412 p. [in Ukrainian].
29. Polishuk, A., Skyba, M. (2023). *Modeliuvannia ekstruzii i ekstruderiv pry pererobtsi polimeriv: monohrafiia v 2 ch.* [Justification of the design of the extruder nozzle of a 3D printer that uses granules and crushed polymer particles as raw materials]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu = Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, No. 5, Part 1, P. 192–204 [in Ukrainian].
30. i3 Mega S URL: <http://surl.li/nnrpo>. [in Ukrainian].
31. 3D modeli dlia testu druku [3D models for print test]. URL: <http://surl.li/nnrpy> [in Ukrainian].
27. Мікульонок І. О., Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Радченко Л. Б. *Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб.* К.: НТУУ "КПІ", 2015. 200 с.
28. Кузяев И. М., Свідерський В. А., Петухов А. Д. *Моделирование экструзии и экструдерів при переробці полімерів: монографія в 2 ч.* К.: НТУУ "КПІ"; Вид-во "Політехніка", 2016. – 412 с.
29. Полішук А., Скиба М. *Обґрунтування конструкції сопла еструдера 3D-принтера, що використовує гранули та подрібнені частки полімеру в якості вихідної сировини.* *Вісник Хмельницького національного університету.* 2023. № 5, Ч. 1. С. 192–204.
30. i3 Mega S. URL: <http://surl.li/nnrpo>.
31. 3D моделі для тесту друку. URL: <http://surl.li/nnrpy>.

**POLISHCHUK ANDRII**

Postgraduate student,  
Department of machines and apparatuses,  
electromechanical and energy systems,  
Khmelnytskyi National University, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7887-7169>  
Scopus Author ID: 57221085232  
E-mail: [andrepol215@gmail.com](mailto:andrepol215@gmail.com)

**POLISHCHUK A. O.**

*Khmelnytskyi National University, Ukraine*

**DEVELOPMENT OF A 3D PRINTER SCREW EXTRUDER THAT USES GRANULES OR CRUSHED POLYMER PARTICLES AS RAW MATERIALS**

**Purpose.** *Development of a 3D printer screw extruder design that uses granules or crushed polymer particles as raw materials and provides an accurate and stable polymer extrusion process for 3D printing models.*

**Methodology.** *The method of systematic, theoretical and comparative analyzes was used in the work. Theoretical and practical studies are based on fundamental principles and knowledge in the field of mechanical engineering, heat engineering, and also take into account the features and requirements related to polymer processing, ensuring the efficiency of this process.*

**Findings.** *An overview of the methods of manufacturing products and parts was conducted and the additive method was substantiated as promising for creating products by 3D printing. Different types and approaches to additive manufacturing based on extrusion are considered and it is proposed to use a screw in an extruder that prints with granules or crushed polymer particles. The geometry of the micro-screw has been developed, which optimizes the process of melting and feeding polymeric materials, increasing the quality of*

printing and reducing the time of extrusion. The design of the loading hopper has been improved, which ensures uniform and effective feeding of granules and crushed polymer particles into the material cylinder by a rotating auger. A cooling system for the extruder body and loading hopper has been developed. A nozzle with an internal geometry that optimizes the flow of molten polymer and increases printing accuracy is designed. A developed screw extruder is installed instead of a filament printing extruder on a 3D printer. The operation of the main elements of the 3D printer was synchronized with the developed extruder and their modes of operation were optimized. The process of printing test samples and finished parts using the developed screw extruder was carried out.

**Originality.** An extruder with a rotating micro-screw for a 3D printer that prints granules or particles of crushed polymer has been developed. The operation of the proposed screw extruder was synchronized with the elements of the 3D printer, which ensured high print quality, reliability and overall efficiency of the equipment after improvement.

**Practical value.** Using pellets or chopped pieces of polymer can be significantly cheaper than using traditional filament. This makes 3D printing more affordable and cost-effective, especially for large-scale production. The use of recycled materials contributes to the improvement of environmental safety, allows to reduce the volume of polymer waste. A screw extruder allows the use of a wider range of polymer materials, including polymers that may not be suitable for filament printing. The development of a screw extruder for a 3D printer opens new horizons in the practical use of 3D printing, providing more cost-effective, environmentally sustainable and innovative solutions for various fields of application.

**Keywords:** polymer material; granules; crushed particles; screw extruder; micro screw; 3D printer.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.4>

УДК 004.75

СКІДАН В. В., НІКОНОВ О. Я., ВОЛІВАЧ А. П., ПАВЛЕНКО В. М.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХМАРНИХ МІКРОСЕРВІСІВ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ASP.NET CORE

**Мета.** Дослідження хмарних мікросервісів на базі технології ASP.NET Core та використання архітектурного шаблону Model-View-ViewModel (MVVM), оцінка технічних переваг.

**Методика.** Дослідження хмарних мікросервісів на базі технології ASP.NET Core здійснюється на основі методів і алгоритмів аналізу програмних систем з метою покращення їх якості, безпеки та продуктивності.

**Результати.** В результаті дослідження хмарних мікросервісів на базі технології ASP.NET Core проаналізовано ефективність використання архітектурного шаблону MVVM. Архітектурний шаблон MVVM дозволяє розділити інтерфейс програми, базову презентацію та бізнес-логіку на три окремі класи: представлення, яке інкапсулює інтерфейс і логіку інтерфейсу; модель представлення, яка інкапсулює логіку презентації та стан; модель, яка інкапсулює бізнес-логіку та дані програми. Шаблон дозволяє створювати додатки, які є більш масштабованими і керованими, а також спростити процес тестування, підтримку та розвиток додатку. Досліджено найкращі практики для розробки та обслуговування мікросервісів в хмарі з використанням ASP.NET Core. На базі технології ASP.NET Core та архітектурного шаблону MVVM розроблено веб-додаток «Онлайн галерея» для роботи з фото-контентом.

**Наукова новизна.** Запропоновано використання архітектурного шаблону MVVM для побудови хмарних мікросервісів і технології ASP.NET Core. Досліджено переваги використання ASP.NET Core в контексті хмарних мікросервісів.

**Практична значимість.** Проведені дослідження дозволяють оцінити переваги при впровадженні ASP.NET Core для хмарних мікросервісів, що є важливим для архітекторів програмного забезпечення, розробників та IT-компаній, в цілому. Отримані результати дозволяють приймати обґрунтовані рішення при проектуванні хмарних мікросервісів на базі технології ASP.NET Core, і як наслідок, розробляти більш ефективні, масштабовані та безпечні програмні системи. Отримані результати є основою для майбутніх досліджень та ефективних реалізацій у постійно еволюціонуючому середовищі хмарних обчислень та мікросервісів.

**Ключові слова.** веб-додаток; веб-сервіс; хмарні мікросервіси; технологія ASP.NET Core; архітектурний шаблон MVVM.

**Вступ.** Підвищення продуктивності, безпеки та масштабованості програмних систем хмарних мікросервісів є дуже актуальними й практичними задачами, що пов'язано з ростом популярності хмарних обчислень та мікросервісів [1–11].

На сьогодні пропонуються ефективні підходи та методи, що дозволяють вирішувати наступні задачі [1–8]: контейнеризація й оркестрація – використання контейнерів (наприклад, Docker) дозволяє упаковувати додатки з усім оточенням в стандартизовані середовища, а оркестрація (наприклад, Kubernetes) управляє розгортанням, масштабуванням і керуванням контейнерами, що полегшує автоматизацію і розширення хмарних мікросервісів; автоматизація й Continuous Integration та Continuous Deployment (CI/CD) – використання практик CI/CD дозволяє автоматизувати процеси тестування, збирання та розгортання мікросервісів, що допомагає підвищити продуктивність і забезпечити швидке внесення змін; моніторинг і аналітика – важливий елемент для забезпечення якості та продуктивності системи, використання інструментів моніторингу (наприклад, Prometheus, Grafana) дозволяє відстежувати роботу мікросервісів в реальному часі та виявляти проблеми.

Слід зазначити, що безпосереднє використання мікросервісної архітектури – розділення додатка на невеликі мікросервіси зменшує вплив збоїв на весь додаток і дозволяє розробникам працювати над окремими компонентами паралельно [1–6].

Загалом, поєднання мікросервісної архітектури й хмарних обчислень може сприяти підвищенню швидкості розробки, масштабованості та надійності додатків, що є критичними аспектами у сучасному інформаційному середовищі.

**Постановка задачі.** Метою роботи є дослідження хмарних мікросервісів на базі технології ASP.NET Core та використання архітектурного шаблону MVVM, оцінка технічних переваг.

Цілі роботи:

- дослідження основних концепцій та принципів хмарних мікросервісів;
- дослідження архітектурного шаблону MVVM в порівнянні з іншими архітектурними підходами;
- дослідження концепції поєднання ASP.NET Core та архітектурного шаблону MVVM;
- дослідження можливості інтероперабельності та взаємодії між різними мікросервісами, які використовують ASP.NET Core та архітектурний шаблон MVVM.

Результати дослідження та висновки, отримані на основі визначених цілей, дозволять приймати обґрунтовані рішення щодо використання ASP.NET Core та архітектурного шаблону MVVM в конкретних сценаріях розробки хмарних мікросервісів.

**Результати дослідження.** В ході дослідження розглянуто трендові технології розробки веб-додатків. Встановлено, що частина технологій (платформ) мають відкритий вихідний код, такі як Java та PHP, тоді як інші, наприклад, ASP.NET Model-View-Controller (MVC), є закритими системами. Багато веб-розробників використовують саме ASP.NET MVC для створення веб-додатків, хоча останній реліз фреймворку – ASP.NET Core – пропонує значно більше переваг для веб-розробки, ніж його попередник. ASP.NET Core є крос-платформним фреймворком з відкритим вихідним кодом, створеним командою розробників у складі компанії Microsoft, а також за участю активної спільноти розробників. Це, по суті, перетворення оригінального ASP.NET, що об'єднує структуру MVC та Web API в єдиний комплексний фреймворк [7] (рис. 1). Розгортання мікросервісів та їх інтеграція з ASP.NET Core можливі завдяки хмарним технологіям та платформам таких як: Microsoft Azure, Amazon Web Services, Google Cloud Platform, Docker Swarm, Red Hat OpenShift, IBM Cloud та ін. Для інтеграції з ASP.NET Core створюються контейнери для кожного мікросервісу, а потім використовується оркестратор контейнерів (наприклад, Kubernetes, Docker Swarm або OpenShift) для їх керування та розгортання. ASP.NET Core ефективно працює з методами контейнеризації, оскільки має незалежність від конкретної інфраструктури і адаптується до різних хмарних платформ [1–8].

Особливості використання архітектурних шаблонів MVC та MVVM з хмарними мікросервісами та відмінності в порівнянні з іншими підходами до розробки додатків:

1. *Розділення функціональності.* Основна ідея застосування шаблонів MVC та MVVM полягає в розділенні функціональності додатка на окремі компоненти, такі як Model (модель), View (представлення) і Controller/ViewModel (контролер/модель представлення). При використанні хмарних мікросервісів кожен мікросервіс може використовувати власну реалізацію вищенаведених компонентів.

2. *Комунікація між мікросервісами.* Однією з ключових відмінностей використання архітектурних шаблонів з хмарними мікросервісами є питання комунікації між різними сервісами. Архітектура повинна передбачати механізми для обміну даними та подіями між

мікросервісами і які компоненти (наприклад, Controller або ViewModel) відповідають за цю комунікацію.



Рис. 1. Можливості технології ASP.NET Core

3. *Управління інтерфейсами.* При використанні хмарних мікросервісів один додаток може складатися з декількох інтерфейсів користувача, які можуть бути реалізовані як окремі мікросервіси або компоненти. Використання шаблонів MVC або MVVM підвищує ефективність процесу організації логіки для кожного з цих інтерфейсів.

4. *Паралельна розробка.* Розподілена структура дозволяє різним командам розробників працювати над різними мікросервісами незалежно. MVC та MVVM забезпечують чіткий розділ обов'язків між розробниками, що полегшує паралельну розробку.

Підсумовуючі вищенаведене, використання архітектурних шаблонів MVC та MVVM з хмарними мікросервісами є доцільним, але вимагає уваги до деталей взаємодії між компонентами та дотримання сучасних практик розробки мікросервісних додатків.

Слід зауважити, що важливими аспектами для забезпечення ефективності й витратоспоживання є масштабування та оптимізація мікросервісів. Сучасними підходами масштабування мікросервісів є горизонтальне масштабування, контейнеризація, оркестрація контейнерів, автоматичне масштабування. Для оптимізації мікросервісів – профілювання та оптимізація коду, кешування, моніторинг і логування, моніторинг та аналітика витрат тощо [1–7]. Загалом, оптимізація та масштабування мікросервісів – це постійний процес, який вимагає уваги до деталей та постійного моніторингу для забезпечення ефективності та зниження витрат.

Також проведено аналіз ефективності використання архітектурного шаблону MVVM для хмарних мікросервісів. Встановлено, що поєднання ASP.NET Core та архітектурного шаблону MVVM дозволяє розробникам створювати веб-додатки з ефективним розподілом задач між серверною і клієнтською частиною. При цьому інтероперабельність та взаємодія між різними мікросервісами, які використовують ASP.NET Core й архітектурний шаблон MVVM, є ключовими аспектами розробки розподілених систем. Розробники програмних систем приймають шаблон проектування MVVM (рис. 2) зі схожими мотивами об'єктно-орієнтованого програмування.

За результатами аналізу виділено ключові причини використання архітектурного шаблону MVVM для хмарних мікросервісів [1–6]:

1. *Розділення проблем.* Шаблон MVVM дозволяє розділити проблему на окремі компоненти. Model представляє дані та бізнес-логіку, View відображає інтерфейс користувача,

а ViewModel визначає взаємодію між ними, що допомагає зробити код більш організованим і зрозумілим.

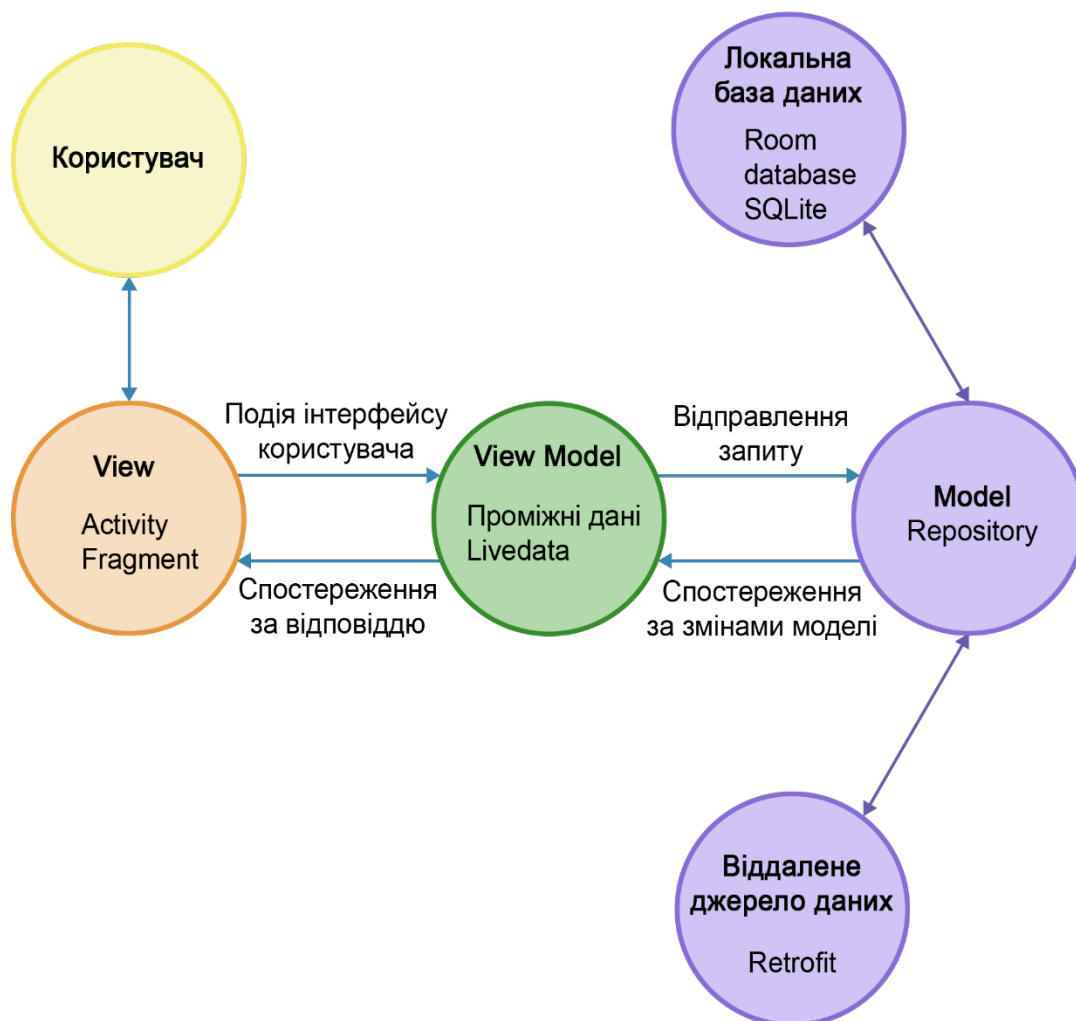


Рис. 2. Архітектурний шаблон Model-View-ViewModel

2. *Можливість повторного використання.* Шаблон MVVM сприяє створенню автономних компонентів, які можна повторно використовувати в різних частинах програми або навіть в інших проєктах, що полегшує розробку та знижує витрати часу.

3. *Зручність обслуговування.* Якщо логіка програми обгорнута в невеликі самостійні класи, то спрощується процес внесення змін і виправлення помилок, що дозволяє зосередитися на окремих компонентах без необхідності редагувати всю програму.

4. *Тестування.* Якщо логіка розділена на класи, то процес тестування стає більш ефективним. Нескладно створити набір тестів для перевірки кожної властивості та методу в окремих класах. Без використання глобальних змінних, тестування стає набагато надійнішим.

5. *Підтримка інтерфейсу та розширюваність.* MVVM робить код більш гнучким і розширюваним, що дозволяє ефективно взаємодіяти з різними інтерфейсами користувача, що особливо корисно в сучасних додатках, які можуть працювати на різних платформах та пристроях.

6. *Уніфікація команд та подій.* MVVM спрощує управління командами та подіями в програмі. Використання команд дозволяє структурувати та групувати дії, які виконуються при взаємодії з користувачем, що робить код більш організованим, зрозумілим і керованим.

7. Підтримка паралельної розробки. Шаблон MVVM розділяє функціональність додатку на компоненти, що дозволяє розробникам працювати над різними частинами програми паралельно, не заважаючи одне одному.

8. Ефективність роботи з дизайном. View та ViewModel дозволяють розділити логіку програми та її представлення, що робить співпрацю з дизайнерами більш ефективною, оскільки можна працювати над інтерфейсом без втручання у логіку програми.

Загалом, прийняття шаблону проектування MVVM базується на розподілі відповідальностей, полегшує розробку, підтримку і тестування програмного забезпечення та робить процес розробки більш ефективним й організованим.

За результатами аналізу архітектурного шаблону MVC для хмарних мікросервісів встановлено, що його концепція представляє розділення додатку на компоненти Model, View і Controller, кожен з яких виконує свою роль у додатку (рис. 3) [1–7].

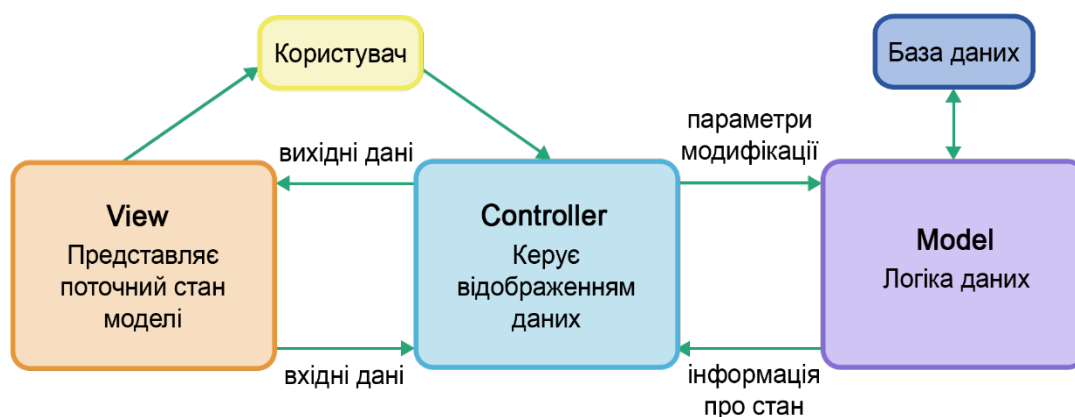


Рис. 3. Архітектурний шаблон Model-View-Controller

Model представляє собою компонент, який відповідає за управління даними та бізнес-логікою, не залежить від інтерфейсу користувача. Може включати логіку, пов'язану з доступом до бази даних, зберігання та отримання даних. При цьому бізнес-логіка інкапсульована в межах Model разом з логікою реалізації для збереження стану програми.

View відповідає за відображення інформації користувачу і відображає дані з Model та забезпечує інтерфейс для взаємодії користувача з додатком. Слід зазначити, що View не повинен містити бізнес-логіки, оскільки він відображає дані, які надаються Model. У випадку, якщо необхідно виконати велику кількість операцій з логікою у файлах перегляду для відображення даних складної моделі використовується компонента перегляду, моделі перегляду або шаблон перегляду.

Controller діє як посередник між Model та View, приймає вхідні дані від користувача через інтерфейс, виконує необхідні операції, ініціює взаємодію з моделлю та визначає, який вид має бути відображений. Controller відповідає за обробку подій та керування потоком додатка.

Узагальнюючи концепцію архітектурного шаблону MVC, а саме розділення додатку на Model, View і Controller, необхідно наголосити на практичній складовій – це полегшення розробки, тестування та підтримки коду. Архітектурний шаблон MVC дозволяє підтримувати прозору структуру, а командам розробників працювати над окремими частинами додатка паралельно.

Архітектурні шаблони MVC і MVVM використовуються для розробки програмного забезпечення з графічним інтерфейсом користувача але мають різні концепції і структури:

1. *Розподілення обов'язків.* MVC: у шаблоні MVC компонент Model представляє дані та бізнес-логіку, View відповідає за відображення даних, а Controller є посередником між Model і View, обробляючи вхідні події та оновлюючи відображення.

MVVM: у шаблоні MVVM компонент Model також представляє дані та бізнес-логіку, але у цьому випадку є ще один компонент – ViewModel, яка містить логіку для відображення даних, відокремлену від самого View. Варто зазначити, що View в MVVM відображає дані з ViewModel і реагує на дії користувача. ViewModel і View комунікують через механізми зв'язку, зазвичай за допомогою даних прив'язок (data binding).

2. *Декларативна прив'язка даних.* MVC: в MVC прив'язка даних зазвичай реалізується розробниками вручну і Controller відповідає за оновлення відображення на основі змін в Model. MVVM: у MVVM декларативна прив'язка даних дозволяє автоматично синхронізувати дані між ViewModel і View – зміни в ViewModel автоматично відображаються без прямого втручання розробника.

3. *Тестування.* MVC: тестування у шаблоні MVC може бути складнішим, оскільки бізнес-логіка і логіка відображення зазвичай змішані в Controller. MVVM: MVVM сприяє кращій роздільності обов'язків, що робить його більш придатним для тестування. ViewModel може бути протестованим окремо від View.

4. *Зручність для розробників і дизайнерів.* MVC: у шаблоні MVC дизайнери та розробники можуть практично незалежно працювати над інтерфейсом користувача, але іноді виникають проблеми зі спільною роботою через взаємозалежність Controller і View. MVVM: MVVM робить співпрацю дизайнерів і розробників більш ефективною, оскільки дизайнери можуть працювати над View, не заважаючи розробникам, які роблять ViewModel. При цьому, декларативна прив'язка даних також спрощує цей процес.

Дослідження можливості інтероперабельності та взаємодії між різними мікросервісами, які використовують ASP.NET Core та архітектурний шаблон MVVM. Взаємодія з іншими мікросервісами відбувається через ViewModel, що містить методи або команди для виконання HTTP-запитів до інших мікросервісів, обміну даними через API або використання інших засобів взаємодії, таких як WebSocket. Використовуються бібліотеки або фреймворки для мережевої взаємодії, таких як Retrofit (для Android) або Axios (для веб-додатків). Алгоритм взаємодії: 1) створюється ViewModel, в якій визначаються методи або команди, які будуть взаємодіяти з мікросервісами; 2) виконується мережевий запит до іншого мікросервісу (наприклад, за допомогою бібліотек Retrofit для Android або Axios для веб-додатків); 3) обробка відповіді (розпакування даних з формату відповіді, перетворення їх у необхідний формат даних додатка і збереження їх у властивостях ViewModel); 4) сповіщення View про зміни у даних через механізм прив'язки даних або інших методів залежно від платформи (наприклад, LiveData для Android або WPF для Windows); 5) обробка помилок.

На базі технології ASP.NET Core та архітектурного шаблону MVVM розроблено веб-додаток «Онлайн галерея» для роботи з фото-контентом. На рис. 4 і 5 представлено екран зі списком галерей і зовнішній вигляд галерей у розвороті веб-додатку «Онлайн галерея».

Переваги використання шаблону MVVM:

1. *Збереження існуючої бізнес-логіки.* ViewModel може виступати в ролі адаптера, яка ізолює розробника від внесення значних змін у код Model, що зменшує ризики порушення функціональності моделі.

2. *Модульні тести.* MVVM сприяє покращенню тестованості коду, дозволяючи створювати модульні тести для ViewModel та Model без прив'язки до View, що полегшує автоматизоване тестування та підтримку коду.

3. *Процес зміни інтерфейсу.* Завдяки розділенню логіки View від ViewModel, можливо змінювати інтерфейс частини користувача, не впливаючи на код Model та ViewModel. Такий підхід полегшує процес оновлення та вдосконалення інтерфейсу.

4. *Незалежна робота дизайнерів і розробників.* Розділення на ViewModel і Model дозволяє дизайнерам та розробникам працювати паралельно над своїми частинами без взаємних втручань. Такий підхід сприяє продуктивності та розділенню обов'язків.

5. *Розподіл обов'язків у шаблоні MVVM.* Шаблон MVVM дозволяє чітко розділити обов'язки між Model, View та ViewModel. Такий підхід полегшує управління кодом, робить його більш структурованим та зрозумілим для команди розробників.

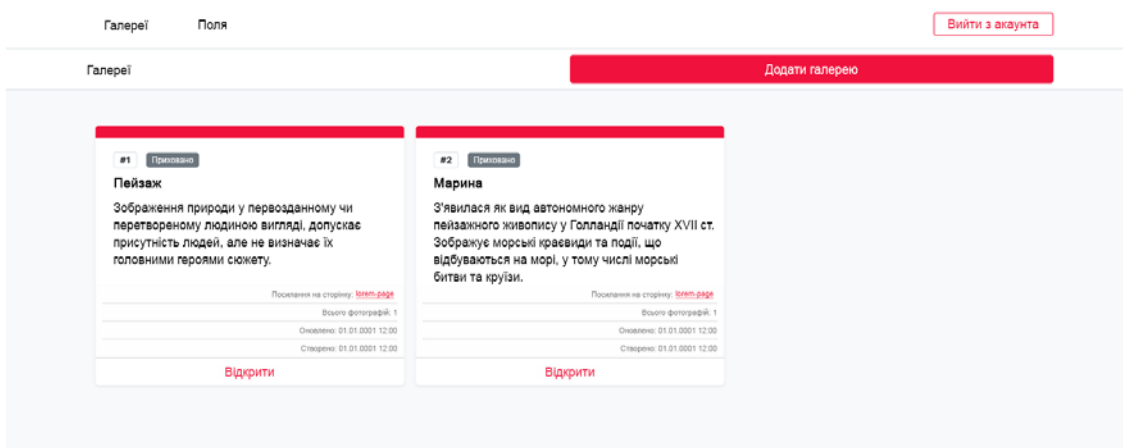


Рис. 4. Екран зі списком галерей веб-додатку «Онлайн галерея»

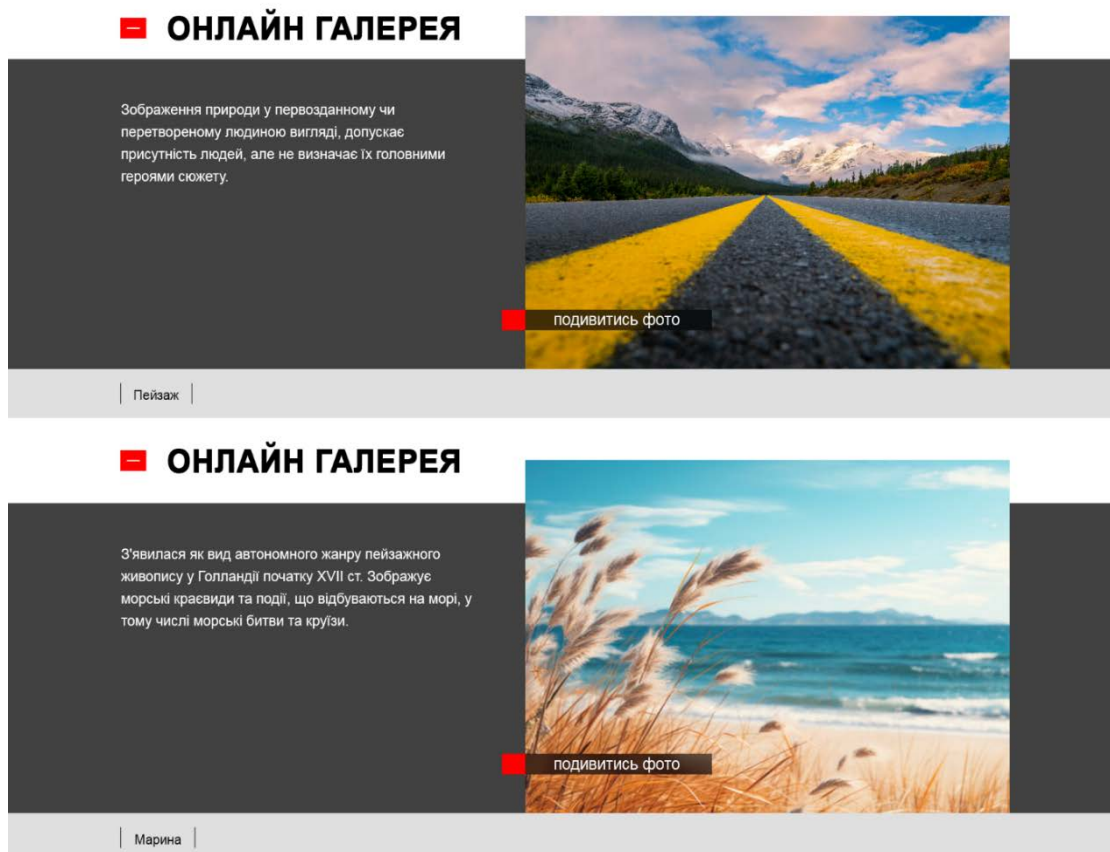


Рис. 5. Зовнішній вигляд галерей у розвороті веб-додатку «Онлайн галерея»

Таким чином, обираючи між MVC і MVVM, слід враховувати особливості проєкту та потреби користувача. MVVM може бути корисним завдяки його декларативній прив'язці даних та розділенню обов'язків, тому його слід застосовувати в більш складних інтерфейсах та проєктах. У випадку створення відносно нескладних проєктів або проєктів де декларативна прив'язка даних може бути зайвою, зручним і дієвим варіантом буде MVC.

Також досліджено переваги шаблону MVVM з ще одним популярним шаблоном MVP (Model-View-Presenter):

1. *Пряме зв'язування.* Однією з основних переваг MVVM є використання прямого зв'язування між ViewModel і View, що дозволяє автоматично оновлювати відображення елементів інтерфейсу при змінах в ViewModel та навпаки. У MVP такий механізм не є стандартним, і його потрібно реалізовувати вручну.

2. *Розділення бізнес-логіки і логіки відображення.* MVVM дозволяє чітко розділити бізнес-логіку від логіки відображення. Компонент ViewModel може бути багаторазово використано, що спрощує розробку та тестування.

3. *Зменшення шаблонного коду.* MVVM зазвичай вимагає менше шаблонного коду, оскільки не потребує явної передачі даних. Завдяки прямому зв'язуванню, оновлення інтерфейсу стає більш декларативним.

4. *Підтримка платформи.* MVVM добре підтримується на багатьох платформах і фреймворках, включаючи WPF, Xamarin, Angular та інші, що робить його універсальним і застосовним в різних проєктах.

**Висновки.** В результаті виконаної роботи:

1. Досліджено основні концепції та принципи хмарних мікросервісів. Показано, що поєднання мікросервісної архітектури й хмарних обчислень сприяє підвищенню швидкості розробки, масштабованості та надійності додатків, що є критичними аспектами у сучасному інформаційному середовищі.

2. Досліджено архітектурний шаблон MVVM в порівнянні з іншими архітектурними підходами. MVVM базується на розділенні відповідальностей, що полегшує розробку, підтримку і тестування програмного забезпечення.

3. Досліджено концепцію поєднання ASP.NET Core та архітектурного шаблону MVVM, що дозволяє розробникам створювати веб-додатки з ефективним розділенням задач між серверною і клієнтською частиною.

4. Досліджено можливості інтеперабельності та взаємодії між різними мікросервісами, які використовують ASP.NET Core та архітектурний шаблон MVVM. На базі технології ASP.NET Core та архітектурного шаблону MVVM розроблено веб-додаток «Онлайн галерея» для роботи з фото-контентом.

На основі конвергенції технологій ASP.NET Core і MVVM розробники програмного забезпечення можуть створювати ефективні та надійні додатки, які будуть задовольняти вимогам сучасних ринків та споживачів послуг.

## References

1. Reznik, P., Dobson, J., Gienow, M. (2020). Cloud Native Transformation: Practical Patterns for Innovation. 1st Edition. O'Reilly Media. 537 p.
2. Garrison, J., Nova, K. (2017). Cloud Native Infrastructure: Patterns for Scalable Infrastructure and Applications in a Dynamic Environment. 1st Edition. O'Reilly Media. 157 p.

## Література

1. Reznik P., Dobson J., Gienow M. Cloud Native Transformation: Practical Patterns for Innovation. 1st Edition. O'Reilly Media, 2020. 537 p.
2. Garrison J., Nova K. Cloud Native Infrastructure: Patterns for Scalable Infrastructure and Applications in a Dynamic Environment. 1st Edition. O'Reilly Media, 2017. 157 p.

3. Lock, A. (2023). ASP.NET Core in Action. 3rd Edition. Manning Publications. 984 p.
4. Esposito, D. (2018). Programming ASP.NET Core (First edition). Microsoft Press. 416 p.
5. Choose an ASP.NET Core web UI. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/tutorials/choose-web-ui?view=aspnetcore-7.0>.
6. Model-View-ViewModel (MVVM). URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/maui/mvvm>.
7. Чому компанії переходять на ASP.NET Core для розробки веб-додатків для вирішення своїх бізнес завдань? [Why companies are switching to ASP.NET Core to develop web applications to solve their business problems?] URL: <https://tqm.com.ua/ua/likbez/ua-articles/chomu-asp-net> [in Ukrainian].
8. Nikonov, O., Skidan, V., Volivach, A., Nadopta, T., Pavlenko, V. (2023). Cloud System of Content Accounting with Access on OC Android and IOS. 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, pp. 1002–1005.
9. Skvorchevsky, A. (2022). Increasing the robustness of computer networks by using hybrid centralized-distributed topology. 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine, pp. 239–242.
10. Nikonov, O. Ya., Aleksiiev, V. O., Ulko, V. Yu., Seredina, H. I. (2013). Rozroblennia ta vprovadzhennia internet-tehnolohii dlia pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia transportnykh zasobiv [Development and implementation of Internet technologies to increase the efficiency of the use of vehicles]. *Visnyk SevNTU*, № 142, P. 69–72 [in Ukrainian].
11. Nikonov, O. Ya. (2019). Intelektualni kompiuterni tehnolohii rozroblennia transportnykh zasobiv [Intelligent computer technologies for the development of vehicles]. *Visnyk KhNADU*, № 87, P. 49–53 [in Ukrainian].
3. Lock A. ASP.NET Core in Action. 3rd Edition. Manning Publications, 2023. 984 p.
4. Esposito D. Programming ASP.NET Core. First edition. Microsoft Press, 2018. 416 p.
5. Choose an ASP.NET Core web UI. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/tutorials/choose-web-ui?view=aspnetcore-7.0>.
6. Model-View-ViewModel (MVVM). URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/maui/mvvm>.
7. Чому компанії переходять на ASP.NET Core для розробки веб-додатків для вирішення своїх бізнес завдань? URL: <https://tqm.com.ua/ua/likbez/ua-articles/chomu-asp-net>.
8. Nikonov O., Skidan V., Volivach A., Nadopta T., Pavlenko V. Cloud System of Content Accounting with Access on OC Android and IOS. 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, Ukraine, 2023. P. 1002–1005.
9. Skvorchevsky A. Increasing the robustness of computer networks by using hybrid centralized-distributed topology. 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Lviv, Ukraine, 2022. P. 239–242.
10. Ніконов О. Я., Алексієв В. О., Улько В. Ю., Середіна Г. І. Розроблення та впровадження інтернет-технологій для підвищення ефективності використання транспортних засобів. *Вісник СевНТУ*. 2013. № 142. С. 69–72.
11. Ніконов О. Я. Інтелектуальні комп'ютерні технології розроблення транспортних засобів. *Вісник ХНАДУ*. 2019. № 87. С. 49–53.

**SKIDAN VLADYSLAVA**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Information and Computer  
Technologies, Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8358-9759>

Scopus Author ID: 57210393405

E-mail: [skidan.vv@knuud.edu.ua](mailto:skidan.vv@knuud.edu.ua)

**NIKONOV OLEH**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor of the Department of Information and  
Computer Technologies, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8878-4318>

Scopus Author ID: 57210852164

E-mail: [nikonov.oy@knuud.edu.ua](mailto:nikonov.oy@knuud.edu.ua)

**VOLIVACH ANTONINA**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
of the Department of Information and Computer  
Technologies, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7119-7774>  
Scopus Author ID: 57687762000  
E-mail: [volivach.ap@knuud.com.ua](mailto:volivach.ap@knuud.com.ua)

**PAVLENKO VOLODYMYR**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Dean of the Faculty of Mechatronics and Computer  
Technologies, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2163-8508>  
Scopus Author ID: 57357228600  
E-mail: [pavlenko.vm@knuud.edu.ua](mailto:pavlenko.vm@knuud.edu.ua)

**SKIDAN V. V., NIKONOV O. J., VOLIVACH A. P., PAVLENKO V. M.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**RESEARCH OF CLOUD MICROSERVICES BASED  
ON ASP.NET CORE TECHNOLOGY**

**Goal.** Research of cloud microservices based on ASP.NET Core technology and the use of the Model-View-ViewModel MVVM architectural pattern, evaluation of technical advantages.

**Methodology.** Research of cloud microservices based on ASP.NET Core technology is carried out on the basis of methods and algorithms for the analysis of software systems with the aim of improving their quality, security and productivity.

**Results.** As a result of the research of cloud microservices based on ASP.NET Core technology, the efficiency of using the MVVM architectural pattern was analyzed. The MVVM architectural pattern allows for the separation of a program's interface, basic presentation and business logic into three distinct classes: the View, which encapsulates the interface and interface logic; the ViewModel, which encapsulates presentation logic and state; the Model, which encapsulates the program's business logic and data. This pattern enables the creation of more scalable and maintainable applications and simplifies the process of testing, support, and application development. Best practices for developing and maintaining microservices in the cloud using ASP.NET Core are explored. On the basis of ASP.NET Core technology and the MVVM architectural pattern, the «Online Gallery» web application for working with photo content has been developed.

**Scientific novelty.** The use of the MVVM architectural pattern for building cloud microservices and ASP.NET Core technology is proposed. The advantages of using ASP.NET Core in the context of cloud microservices are explored.

**Practical value.** The research conducted and the results obtained allow us to assess the advantages of implementing ASP.NET Core for cloud microservices, which is important for software architects, developers, and IT companies in general. The obtained results enable informed decisions when designing cloud microservices based on ASP.NET Core technology, which allows you to build more efficient, scalable and secure software systems. The conducted research is the basis for future research and effective implementations in the ever-evolving world of cloud computing and microservices.

**Keywords:** Web Application; Web Service; Cloud Microservices; ASP.NET Core technology; MVVM architectural pattern.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.5>

УДК 621.31:  
535.215

ШАВЬОЛКІН О. О., ПІДГАЙНИЙ М. О.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ВИКОРИСТАННЯ БОЙЛЕРУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ПРИВАТНОЇ ОСЕЛІ З ГІБРИДНОЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ СИСТЕМОЮ

**Мета.** Підвищення ефективності гібридної фотоелектричної системи з акумулятором для потреб приватної оселі шляхом регулювання потужності електричного бойлера для максимального використання енергії фотоелектричної батареї на споживання, розвиток принципів реалізації системи управління енергоспоживанням.

**Методика.** Планування енергоспоживання приватної оселі. Аналіз енергетичних процесів в системі забезпечення теплою водою та в електричних колах фотоелектричної системи живлення з використанням комп'ютерного моделювання для оцінювання ефективності енергоменеджменту.

**Результати.** Розроблено структуру регулятора потужності бойлера з забезпеченням близького до синусоїди струму, що споживається, для всього діапазону регулювання. Математична модель бойлера в системі забезпечення оселі теплою водою. Структура фотоелектричної системи з введенням блоку формування ступеню заряду акумулятору та регулятору потужності бойлера.

**Наукова новизна.** Запропоновано формування графіку ступеню заряду акумуляторної батареї з регулюванням потужності, що споживається бойлером, за відхиленням від заданого графіку. Це сприятиме більш повному використанню енергії фотоелектричної батареї та зменшенню споживання електроенергії з мережі. Обґрунтовано можливість використання сценаріїв енергоспоживання з плануванням життєдіяльності родини протягом доби без суттєвих обмежень. Удосконалено модель бойлера в добовому циклі функціонування з графіком споживання теплої води. Розвинуто структуру моделі енергетичних процесів в системі електроживлення оселі для добового циклу функціонування з введенням моделі бойлера, що враховує його температурний режим.

**Практичне значення.** Отримані рішення є основою для проектування фотоелектричних систем для забезпечення потреб приватних осель.

**Ключові слова:** гібридна фотоелектрична система; сценарії енергоспоживання; управління енергоспоживанням бойлера; формування ступеню заряду акумуляторної батареї; моделювання енергетичних процесів.

**Вступ.** Зараз в загальносвітовій практиці визначилася тенденція щодо використання гібридних фотоелектричних систем (ФЕС) з підключенням до мережі для забезпечення власних потреб локальних об'єктів (ЛО). За цього основною проблемою є недостатнє використання на споживання електроенергії, що виробляється у фотоелектричних мікроустановках (<50 кВт) для житлових будинків. Чим більше значення ступеню використання, тим нижчі витрати на електроенергію, що споживається з мережі. Це також приносить інші позитивні аспекти, до яких відносяться: зниження втрат енергії в мережі; підвищення стабільності мережі за рахунок менших коливань навантаження; зниження витрат на електроенергію для споживачів за рахунок самозабезпеченості та зниження ємності накопичувачів електроенергії. Це дозволяє знизити потужність традиційних електростанцій у довгостроковій перспективі та сприяє інтеграції відновлюваних джерел енергії при зменшенні потреби у вдосконаленні інфраструктури енергосистеми. Отже, існує необхідність розробки рішень, які допоможуть максимально використовувати енергію, що виробляється ФЕС. За цього удосконалення ФЕС з управлінням енергоспоживанням для приватних осель виглядає актуальним.

**Аналіз попередніх досліджень.** Застосування ФЕС для власних потреб приватного сектору підкріплено наявністю на ринку широкої гами гібридних інверторів (ГІ) [1, 2], що передбачають застосування фотоелектричної (ФБ) та акумуляторної (АКБ) батарей.

Не простим питанням є визначення параметрів ФЕС (встановлена потужність ФБ  $P_{PVR}$  та енергоємність АКБ  $W_B$ ). Звичайним обмеженням є площа поверхні для розташування ФБ. Вибір  $P_{PVR}$  визначається середнім значенням енергії, що споживається об'єктом. Енергія генерації ФБ для місця розташування об'єкту визначається за значеннями середньомісячної генерації ФБ за архівними даними з веб-ресурсу [3]. Але в разі перевищення генерації ФБ над споживанням маємо надлишкову енергію. Ця енергія не є значною для продажу. За відсутності договору на продаж та двобічного лічильника на вході генерація оплачується як спожита енергія. Ця методика визначення  $P_{PVR}$  є доречною у разі використання генерації зайвої енергії ФБ в мережу. Підвищення ступеню використання енергії ФБ на споживання в ФЕС для власних потреб в роботах [4, 5] пов'язують з оптимізацією вибору параметрів. В роботі [5] для цього використовують архівні дані генерації ФБ за рік (5 років), а алгоритм управління використовує короткочасний прогноз генерації ФБ на поточний день. Проте за цього навіть для середньомісячної генерації ФБ влітку має місце зайва енергія, що не може бути спожита. За відсутності генерації в мережу в роботі [6] розглядається перемикання режиму роботи ФБ з режиму відбору максимальної потужності (MRPT) на регулювання потужності ФБ. В роботі [7] запропоновано перспективне рішення з формуванням графіку ступеню заряду АКБ шляхом регулюванням активної потужності за відхиленням графіку відносно заданого. Це дозволяє виключити вплив відхилень прогнозу і графіка навантаження від розрахованих значень і сприяє зниженню витрат на електроенергію. Але ці рішення передбачають використання багатофункціонального мережевого інвертора. Стандартні рішення ГІ не передбачають цих режимів і управління здійснюється за програмою, що закладена виробником.

Подальші можливості підвищення ступеню використання енергії ФЕС пов'язано з управлінням енергоспоживанням. В певній мірі це можливо [8] за використання сценаріїв, які пов'язують з тарифікацією оплати з урахування постійного, нічного, напівпікового та пікового тарифів. Вибір сценаріїв здійснюється за прогнозом енергії, що генерується ФБ.

Більш ефективними виглядають рішення зі збільшенням енергії на споживання. За цього надлишкову енергію використовують на акумуляцію тепла. В роботі [9] подано аналіз результатів цілорічної експлуатації фотоелектричної гібридної установки з тепловим насосом для нагрівання води у житловому будинку у Кракові. Результати показали, що використання теплового насосу з управлінням часом роботи призводить до збільшення щомісячних значень власного споживання з 7% до 18%, а річних значень до 13%. Але не до 100% і при цьому зберігається генерація надлишку енергії у мережу. Також є певна суперечність. Теплові насоси в системах теплопостачання та опалення зазвичай використовують для зниження споживання електроенергії за рахунок енергії середовища. При відносно невеликому споживанні теплої води в літній період споживання електроенергії тепловим насосом не вистачить для повного використання енергії ФЕС. В роботі [10] розглянуто систему при поєднанні двох видів зберігання енергії: котельня та акумулятор. Котельня система складається з двох частин, які з'єднані послідовно (основний котел та котел попереднього підігріву). Основний котел забезпечує необхідний рівень температури з використанням енергії відновлюваних джерел або мережі. Котел попереднього нагрівання накопичує енергію, яка не використовується на навантаження та живлення для основного котла. Практичне застосування цього рішення недостатньо опрацьовано, а генерація в мережу надлишків енергії зберігається. В роботі [11] наведено експериментальний прототип пристрою з використанням додаткового навантаження змінної середньої потужності (VAPL) та підключеного до мережі інвертора для автономної системи. АКБ підключено до мережі через окремий інвертор. Відзначено, що в якості VAPL може використовуватися електричний бойлер для нагрівання води. Регулювання здійснюється методом ШІМ. Вирішується завдання контролю надмірної потужності відновлювального джерела електроенергії (ВДЕ), не впливаючи при цьому на стан заряду батареї (SOC)

автономної системи. При цьому після перемикання АКБ в режим плаваючого заряду (з постійною напругою) VAPL споживає надмірну енергію, що генерується ВДЕ. Основним завданням є контроль надлишкової потужності без впливу на рівень накопиченої в АКБ енергії. Розглянута система дещо специфічна та дослідження має на меті оцінку можливості такого рішення. Використання електричного бойлера для забезпечення теплою водою є типовим для приватних будинків, тому його застосування для систем з ВДЕ для забезпечення балансу енергії виглядає перспективним.

У роботі [12] представлено інтелектуальну систему управління енергоспоживанням, яка об'єднує контролер енергоспоживання та модуль проміжного програмного забезпечення IoT для ефективного управління попитом. Оскільки на системи кондиціонування повітря в Пакистані припадає понад 50% споживання електроенергії, розглянуто управління енергоспоживанням з регулюванням споживання кондиціонером.

В роботі [13] розглянуто термоелектричні моделі електричного котла та теплового насоса для оцінки їх потужності та гнучкості як активних навантажень для управління попитом. Показано, що гнучкість установок цього типу може бути різко обмежена за рахунок їх безперервної роботи. Проте не розглянуто рішень щодо управління.

Очевидним є той факт, що повне використання енергії ФЕС на споживання потребує забезпечення балансу потужності, що генерується та споживається, або перевищення споживання. За цього для приватної оселі недостатньо вивчено можливості комбінування планування графіку навантаження з використанням регульованого теплоакumuлюючого бойлера. З врахуванням відхилення навантаження від графіку та змінювання витрат на кондиціонування залежно від температури система управління повинна працювати за певним законом. Доречним виглядає формування графіку ступеню заряду АКБ, що сприятиме забезпеченню балансу енергії в системі.

Розв'язання комплексу питань щодо визначення параметрів ФЕС і реалізації управління енергоспоживанням за змінного навантаження та наявності двох акумулюючих елементів є достатньо складним завданням. Зручним під час проектування і дослідження ефективності управління ФЕС є використання математичного моделювання, зокрема, з використанням Matlab. За цього здійснюється аналіз процесів з оцінкою показників в добовому циклі (24h) [14, 15].

**Постановка завдання.** Максимальне використання енергії ФЕС в гібридній системі електроживлення приватної оселі для забезпечення власних потреб без використання генерації надлишкової електроенергії в мережу потребує вирішення питань щодо планування в часі та управління енергоспоживанням з використанням бойлера системи тепловодопостачання оселі.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності гібридної фотоелектричної системи з акумулятором для потреб приватної оселі шляхом регулювання потужності накопичувального бойлера для максимального використання енергії фотоелектричної батареї на споживання, розвиток принципів реалізації системи управління енергоспоживання.

Завдання для вирішення:

- вивчити можливість використання сценаріїв енергоспоживання з плануванням життєдіяльності родини протягом доби без суттєвих обмежень;
- розробити математичну модель бойлера для постачання теплої води та визначити витрати електроенергії для забезпечення прийнятого графіку споживання теплої води;
- обґрунтувати вибір встановленої потужності ФБ та енергоємності АКБ;
- розробити відповідну структуру реалізації управління бойлером з використанням типового гібридного мережевого інвертора;

- розробити модель енергетичних процесів в системі «мережа змінного струму – фотоелектрична батарея – акумулятор – перетворювальний агрегат – бойлер - навантаження» для добового циклу роботи з оцінкою ефективності.

**Основні матеріали роботи.** Розглянуто використання ФЕС для приватного будинку з типовим сучасним електрообладнанням. Ряд споживачів електроенергії використовується постійно. Це забезпечення харчування членів родини, дозвілля в вечірні години. Ряд операцій виконуються за певним графіком часу, наприклад, сніданок, обід, вечеря. В разі, якщо жінка не працює, прання, приготування їжі, вбирання та інше можуть плануватися на певні дні та години. Це дозволяє здійснювати планування навантаження по дням тижня і протягом доби. Отже, є можливість скласти певні сценарії за потужністю, що споживається. Основою всіх сценаріїв є обов’язковий графік денного навантаження: сніданок, обід, робота на ПК (навчання дітей та їхнє дозвілля), вечірнє навантаження (вечеря, освітлення, дозвілля). Звичайним є збільшення споживання електроенергії ввечері, коли збирається вся родина. Енергозатратні операції (електрична піч, пральна машина, відпарювач, праска, пілосос, посудомийка та ін.) заплановано з 9:00 до 11:00.

Оскільки ясна погода може триматись достатньо тривалий час, потрібно мати набір близьких за споживанням в денний час сценаріїв. Аналіз показав, що є можливість формування сценаріїв з відхиленням енергоспоживання 10%. Середнє значення потужності  $P_{LCP}$ , що споживається за інтервалами часу (період літа), наведено в табл. 1, а графік навантаження на рис. 1. В табл. 1 наведені значення середні для обраних сценаріїв. Кондиціонер і бойлер за цього не враховані.

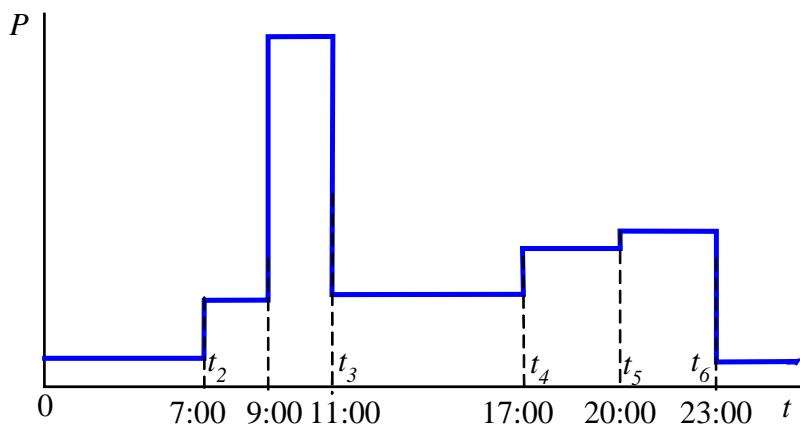


Рис. 1. Графік навантаження з усередненням за інтервалами часу  $P_{LCP}(t)$

Таблиця 1

Середнє значення потужності, що споживається за інтервалами часу

інтервал	7.00:9.00	9.00:11.00	11.00:17.00	17.00:20.00	20.00:23.00	23.00:7.00
$P_{LCP}$ , Вт	512	1480	498	803	815	50

Мета роботи передбачає максимальне (повне) використання енергії, що генерується ФБ на споживання, що стосується днів з високою генерацією ФБ. За низької генерації недостатня енергія споживається з мережі. Отже обмежимося розглядом питання, коли генерація ФБ змінюється від середньомісячної до максимальної влітку. За цього визначення встановленої потужності ФБ  $P_{PVR}$  слід здійснювати для ясного дня влітку (червень, липень), коли має місце максимальна генерація енергії ФБ, згідно максимальному навантаженню будинку в денний час. За цього витрати енергії на кондиціонування та нагрівання води в бойлері є достатньо великими.

Математичну модель бойлеру виконано згідно першому закону термодинаміки. Розглянуто бойлер з ємністю  $V=100$  л. За відносно невеликого розміру ефектом стратифікації (розподілу температури за шарами) можна нехтувати [13]. Сучасні бойлери мають добру теплоізоляцію, тому теплообміном з приміщенням теж можна нехтувати. За цього температура води в бойлері

$$\tau_{in} = \frac{1}{m} \int (Q_E \cdot S - c \cdot v_B (\tau_{in} - \tau_X) dt), \quad (1)$$

де  $m$  – маса води в бойлері, що відповідає об'єму в літрах  $m = V$ ;

$Q_E$  – тепло, що виділяється нагрівачем (ТЕН);

$S$  – функція управління ТЕН (1 – включений та 0 – вимкнута);

$c$  – теплоємність води;

$v_B$  – масове споживання води з бойлеру в л/с;

$\tau_X$  – температура холодної води, що надходить до бойлеру.

Згідно балансу енергії для змішувача води маємо

$$v_{ВИХ} \cdot \tau_{ВИХ} = v_B \cdot \tau_{in} + v_X \cdot \tau_X,$$

де  $v_{ВИХ} = (v_B + v_X)$  – маса води на виході змішувача з температурою  $\tau_{ВИХ}$ ;

$v_X$  – маса холодної води з водопроводу.

Тоді

$$v_B = \frac{v_{ВИХ}}{1 + \frac{\tau_{in} - \tau_{ВИХ}}{\tau_{ВИХ} - \tau_X}} \quad (2)$$

Структура моделі енергетичних процесів в бойлері за рівняннями (1)–(2) наведена на рис. 2. Функцію термостату – відключення підігріву за досягненням заданого значення  $\tau_B$  (або максимального значення) виконує пристрій порівняння К1 та R-S – тригер. На рис. 2 показаний варіант з підтриманням температури  $\tau_B = \tau_{in} = 65$  °С. Графік споживання води (зранку, вдень та ввечері) задається в табличній формі (блок  $v(t)$ ). Початкове значення температури води  $\tau_{B0}$  задається як початкова умова на відповідному вході інтегратора 2.

На рис. 3 наведені осцилограми за прийнятого режиму споживання теплої води за добу з підтриманням заданого значення температури  $\tau_{B0} = 65$  °С ( $V_{ВИХ}$  – об'єм спожитої води за температури  $\tau_{ВИХ} = 37$  °С,  $V_B$  – об'єм води, що витікає з бойлеру. Потужність бойлеру  $P_T = 1500$  Вт. Об'єм споживання теплої води (загальний 151,2 л) задається на визначених інтервалах часу (57,6 л зранку, 36 л вдень, 57,6 л ввечері). За цього загальне споживання електроенергії бойлером становить  $W_T = 3880$  Вт·год.

Цей режим роботи бойлеру є стандартним, коли ТЕН вмикається зі зниженням температури і вимикається за досягненням заданого значення.

Можливість вмикання бойлеру на нагрівання води в визначені моменти часу з регулюванням потужності ТЕН дозволяє використовувати надлишкову енергію ФБ та компенсувати різницю споживання за сценаріями. Прийнятий режим споживання є достатньо економним (за споживанням 4 л/хв.). В разі більшого споживання теплої води і, відповідно, електроенергії можливості використання бойлеру для забезпечення балансу енергії в системі зростають.

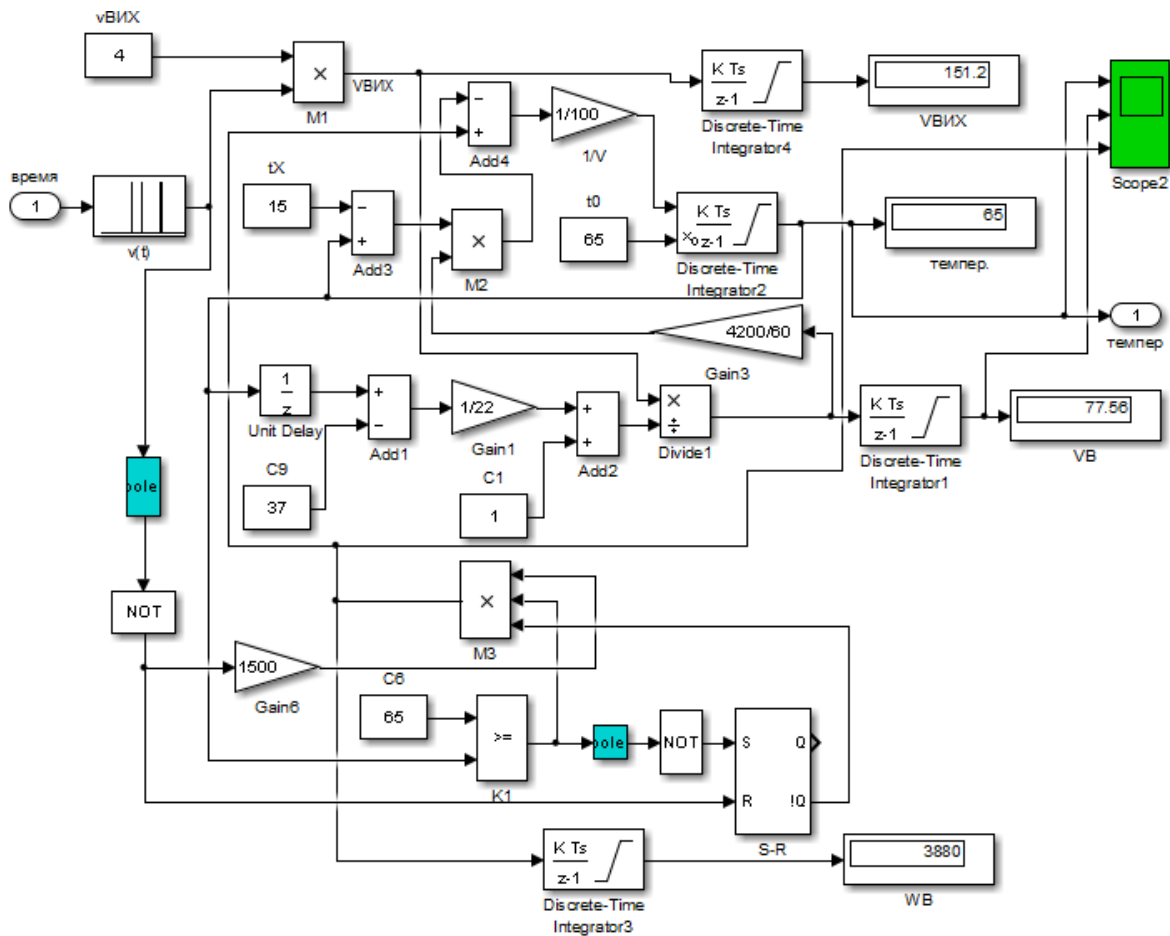


Рис. 2. Структура моделі енергетичних процесів в бойлері

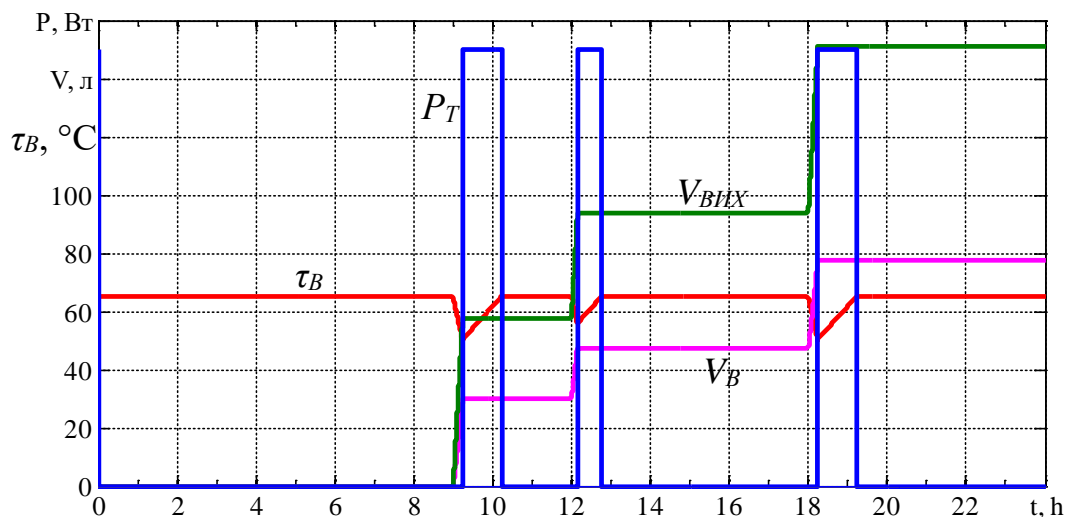


Рис. 3. Осцилограми  $V_{BI_X}$ ,  $V_B$ ,  $\tau_B$ ,  $P_T$

Розрахунок параметрів ФЕС. Поряд із споживанням електроенергії навантаженням слід забезпечити заряд АКБ, що є можливим в години високої сонячної активності до  $t_4$  (рис. 1).

Ступінь заряду АКБ  $Q^*_{t_4}=100\%$  ( $Q^*=Q/Q_H$ ,  $Q = Q_0 + \int I_B dt$ ,  $I_B$  – струм АКБ,  $Q_H$  – відповідає ємності АКБ) забезпечує можливість зменшення споживання енергії з мережі в вечірні години. Це також важливо для можливості реалізації безперебійного живлення в разі відключення живлення.

Баланс енергії в системі без регулювання потужності ФБ та відсутності генерації енергії в мережу для денного часу:

$$W_{PV24} \cdot \eta_C - W_{L24} + \Delta W_{B24} = 0, \quad (3)$$

де  $W_{PV24}$  – енергія, що генерується ФБ на інтервалі  $(t_2, t_4)$ ;

$W_{L24}$  – енергія, що споживається навантаженням;

$\Delta W_{B24}=0.01\Delta Q^*_{24}W_B/(\eta_B \cdot \eta_C)$  – енергія, що споживається на заряд АКБ;

$\Delta Q^*_{24}=(Q^*_{t_4} - Q^*_{t_2})$  – зміна ступеню заряду АКБ на інтервалі  $(t_2, t_4)$ ;

$W_B=U_B \cdot C_B$  – енергоємність АКБ ( $U_B$  та  $C_B$  – напруга та ємність (А·год));

$\eta_B$  та  $\eta_C$  – ККД АКБ та ККД перетворення енергії (перетворювач напруги на виході ФБ та мережевий інвертор).

Значення енергоємності АКБ  $W_B$  визначимо за умови виключення споживання електроенергії на інтервалі  $(t_4, t_6)$  для дня з середньомісячною генерацією в червні та липні без використання кондиціонування

$$W_B = \frac{W^{L46}}{0.01\Delta Q^*_{46} \cdot \eta_C \cdot \eta_B}, \quad (4)$$

де  $W^{L46}$  – енергія, яку компенсує АКБ з врахуванням генерації ФБ, прийнято  $W^{L46}=0.5W_{L45} + W_{L56}$ ,  $W_{PV56}=0$ ,  $W_{PV45}=0.5W_{L45}$ .

Згідно (3) енергія, що генерується ФБ на інтервалі  $(t_2, t_4)$  в загальному випадку

$$W_{PV24} = \frac{1}{\eta_C} (W_{LC24} + \Delta W_{B24}), \quad (5)$$

де  $W_{LC24} = W_{L24} + W_T + K \cdot W_{K24}$  – загальне значення енергії навантаження з врахуванням споживання бойлеру  $W_T$  та на кондиціонування  $K \cdot W_{K24}$  ( $K$  – ступінь використання енергії кондиціонером відносно значення за номінальної потужності).

З урахуванням того, що за максимальної генерації ФБ не завжди є потреба в максимальному рівні кондиціонування, прийнято  $K = 0,5$ . До речі, в перехідні сезони року (весна, осінь) за високої генерації ФБ кондиціонер може вмикатися на підігрів.

За даними архіву для ФБ з потужністю  $P_{PVR} = 1$  кВт знаходимо енергію на інтервалі  $(t_2, t_4)$   $W_{PVR24}$ . З урахуванням цього встановлена потужність ФБ, що відповідає прийнятому навантаженню:

$$P_{PV} = \frac{W_{PV24}}{W_{PVR24}}.$$

Для розглянутого сценарію значення  $W_B = 5120$  Вт·год,  $P_{PV} = 3,5$  кВт. В разі використання акумулятору типу LiFePO4 [16] за напруги  $U_B = 25,6$  В (послідовне з'єднання 2 АКБ) значення  $C_B = 200$  А·год.

Головною умовою повного використання  $W_{PV24}$  є співвідношення  $W_{PV24} \cdot \eta_B \leq (W_{L24} + \Delta W_{B24})$ . Питання забезпечення балансу потужності в системі без генерації в мережу

ускладнюється тим, що заряд АКБ здійснюється в двох режимах: із заданим струмом заряду  $I_B$  за значення  $Q^* \leq Q^*_d$  та постійної напруги  $U_B$  за  $Q^* > Q^*_d$  [16]. За постійної  $U_B$  струм  $I_B$  значно зменшується та визначається характеристикою  $I_{Bch}(Q^*)$  (в разі  $Q^* = 95\%$ ,  $I_{Bch} = 0,05 C_B$  [16]). Відповідно АКБ здатний приймати лише обмежену енергію. Проблема можна вирішити в разі обмеження  $Q^* \leq Q^*_d$ , коли струм заряду обмежується лише припустимим значенням. Але при  $Q^*_d \approx 90\%$  для АКБ типу LiFePO4 [16] це визначатиме завищення енергоємності АКБ не менше 10%. В разі свинцево-кисневих АКБ  $Q^*_d \approx 80\%$  [17].

За прийнятого сценарію (рис.1) критичним є інтервал  $(t_3, t_4)$ . Формування графіку  $Q^*(t)$  переслідує мету обмеженням швидкості змінювання  $\Delta Q^*/\Delta t$ . За цього відомі значення  $Q^*_3$  в кінці ранкового піку і бажане (максимальне) значення  $Q^*_4 \rightarrow 100\%$ . Щоб мінімізувати  $\Delta Q^*/\Delta t$  на ділянці, де  $Q^* > Q^*_d$  прийнято експоненційний графік  $Q^*_R(t)$

$$Q^*_R = Q^*_S + (Q^*_4 - Q^*_S) \left(1 - e^{-\frac{t-t_S}{\tau}}\right),$$

де  $Q^*_S$  – початкове значення, що відповідає моменту часу  $t_S$ ,  $\tau = (t_4 - t_S)/3.5$  – стала часу.

Забезпечення відповідності графіку  $Q^*(t)$  заданому  $Q^*_R(t)$  можливо корекцією енергії, що споживається бойлером, з дискретністю в часі  $\Delta t$  за відхиленням  $\Delta Q^*_t = Q^*_R - Q^*_M$  ( $Q^*_M$  – вимірне значення). За цього  $Q^*_R(t)$  має східчасту форму з постійним значенням на інтервалі  $\Delta t$ , вимірювання здійснюється на початку інтервалу. Потужність бойлеру  $P_T = K \Delta Q^*_t$ . Значення  $K$  визначається за максимального відхилення  $P_{Tном} = K \Delta Q^*_{iMAX}$  ( $P_{Tном}$  – потужність нагрівача (ТЕН)). В межах близької до лінійної початкової ділянки  $Q^*_R(t)$  значення прирощення  $\Delta Q^* \leq 10\%$  і можна прийняти значення  $\Delta Q^*_{iMAX} = 5\%$ .

За фіксованого об'єму спожитої води  $V_{вих}$  значення  $W_{T1}$  є постійним. Значення енергії, що споживається бойлером, в процесі формування  $Q^*(t)$  є змінним в залежності від навантаження. В даному разі це енергія на кондиціонування. Із збільшенням навантаження це призводить до потреби підігріву води вночі. Енергія за цього  $W_{ТД} = W_{T1} - W_{T24}$  ( $W_{T24}$  – енергія спожита вдень на кінець доби 24:00).

На рис. 4 наведена структура моделі регулятора (без вимірювальних приладів), що цілком відповідає його принциповій схемі. Схема містить випрямляч з імпульсним перетворювачем напруги на транзисторі в колі постійного струму, На вході випрямляча з боку мережі живлення (АС) використано LC фільтр (індуктивність  $L_1$  і конденсатор  $C$  з резистором  $R_2$  для зниження добротності і виключення коливальності). Прийняті наступні параметри:  $L_1 = 0,2$  мГн,  $C = 60$  мкФ,  $R_2 = 0,6$  Ом. В моделі також враховано активний опір котушки  $R_2 = 0,6$  Ом. Керування транзистором здійснює генератор ШІМ з частотою модуляції  $f_M = 5$  кГц ( $\gamma$  – коефіцієнт заповнення імпульсів).

Загальна структура ФЕС з управлінням потужністю бойлеру наведена на рис. 5 і містить: гібридний мережевий інвертор (ГМІ); фотоелектричну батарею (PV); АКБ; некероване навантаження (НН). Введено блок управління БУ; датчик струму (ДС) і напруги (ДН) АКБ; блок визначення ступеню заряду АКБ (ВСЗ). Схема підключення бойлеру змінена і ТЕН ( $R_B$ ) підключено через регулятор потужності (РП), S – вимикач, St – контакт термостату.

При побудові загальної структури моделі для дослідження енергетичних процесів в системі використано основні принципи, що надані в роботі [8]. Задаються: графік потужності генерації ФБ в режимі відбору максимальної потужності  $P_{PVM}(t)$ ; середнє значення потужності кондиціонеру на інтервалі часу його вмикання  $P_K = C \cdot P_{Kном}$ , середнє значення потужності за інтервалами часу споживачів без врахування бойлеру та кондиціонеру  $P_L(t)$ . За цього загальна потужність навантаження  $P_{LC} = P_L + P_K + P^I_T$  ( $P^I_T$  значення потужності бойлеру, що визначається з врахуванням відключення термостату).

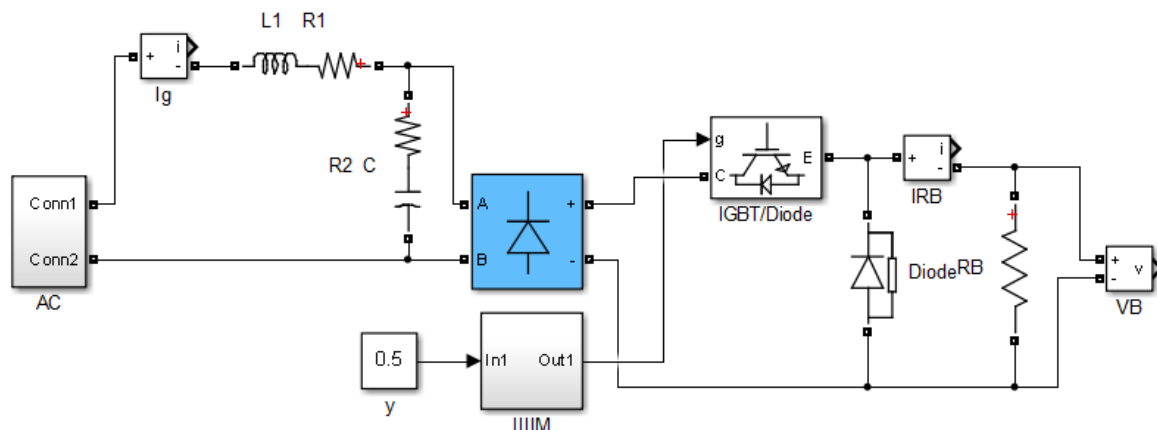


Рис. 4. Структура моделі регулятора

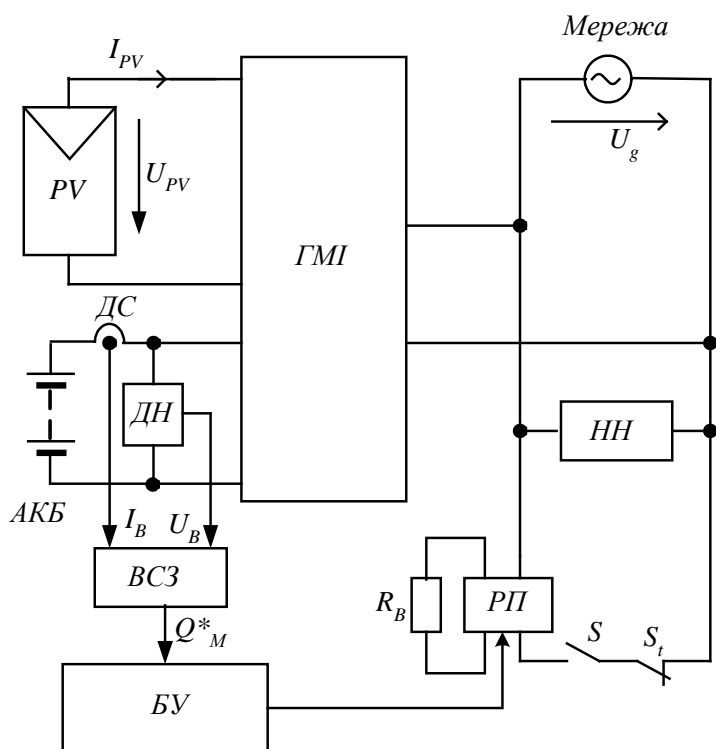


Рис. 5. Структура ФЕС з управлінням потужністю бойлеру

Регулятор потужності ТЕН є лінійною ланкою. З урахуванням цього блок управління реалізовано в спрощеній формі за рівнянням  $P_T = K \cdot \Delta Q^*$  з обмеженням  $P_T \leq P_{MAX} = P_{Tном}$ . Значення  $P_T$  подається до моделі бойлеру, де перетворюється до значення  $P^l_T$ .

Для оцінювання ступеню зниження витрат на спожити з мережі електроенергію передбачено використання коефіцієнта  $k_E = W_L / W_g$  ( $W_L$  – енергія, що споживається навантаженням за добу,  $W_g$  – енергія що споживається з мережі) [5]. За цього прийнято співвідношення тарифів: для трьох тарифів денний (напівпіковий) – 1, нічний – 0,4, піковий – 1,5; для двох тарифів – денний (напівпіковий) – 1, нічний – 0,5. Значення  $W_L$  і  $W_g$  визначаються з врахуванням інтервалів часу та відносних значень тарифів.

**Результати моделювання.** Структура моделі для дослідження електромагнітних процесів в схемі регулювання потужності бойлера наведена на рис.4. За прийнятих параметрів схеми найбільше значення ТНДі для струму бойлеру  $\leq 7\%$  за  $0.5P_{ТНОМ}$ , що є цілком придатним. Залежність  $P_T(\gamma)$  є лінійною.

Результати моделювання роботи ФЕС з регулюванням потужності бойлеру для дня з максимальною генерацією ФБ наведені в табл. 2 ( $W_{LC}$  – загальна енергія, що споживається за добу,  $W_g$  – енергія, що споживається з мережі,  $W_T$  – енергія, що споживається ТЕН,  $k_{E3} – k_{E1}$  значення за трьох, двох і одного тарифів). Температура повітря в будинку може бути різною, відповідно, різними будуть витрати на кондиціонування, що враховано значенням  $C$ .

Таблиця 2

**Показники системи за максимальної генерації ФБ**

C	Регулювання потужності бойлеру						Підтримання температури води в бойлері					
	$W_{LC}$ , Вт·год	$W_g$ , Вт·год	$W_T$ , Вт·год	$k_{E3}$	$k_{E2}$	$k_{E1}$	$W_{LC}$ , Вт·год	$W_g$ , Вт·год	$W_T$ , Вт·год	$k_{E3}$	$k_{E2}$	$k_{E1}$
1	22630	40,5	3880	$\frac{5,76}{5,71}$	$\frac{6,04}{5,98}$	$\frac{5,04}{4,99}$	24530	37	3880	$\frac{4,57}{4,54}$	$\frac{5,22}{5,17}$	$\frac{5,06}{5,02}$
0.8	21910	48,2	3880	$\frac{8,05}{7,92}$	$\frac{8,42}{8,27}$	$\frac{7,18}{7,07}$	22760	888	3880	$\frac{5,31}{4,54}$	$\frac{5,9}{4,8}$	$\frac{5,68}{4,67}$
0.6	21020	191	3902	$\frac{14,66}{13,13}$	$\frac{14,5}{12,8}$	$\frac{13,06}{11,68}$	21000	1917	3880	$\frac{6,17}{4,23}$	$\frac{6,63}{4,14}$	$\frac{6,33}{4,04}$

Для порівняння в табл. 2 за тих же умов наведені дані в разі використання бойлеру з підтриманням заданого значення температури води. За цього розглянуто регулювання потужності ФБ (значення  $k_E$  в чисельнику) для виключення генерації енергії в мережу та генерація надлишкової енергії в мережу з оплатою як за споживання (значення  $k_E$  в знаменнику). Отримані дані свідчать про можливість практично повного використання енергії ФБ ( $W_g/W_{LC} = 191/21020 = 0,009$ ) в разі регулювання потужності бойлеру зі зниженням витрат на енергію спожиту з мережі порівняно з варіантом без регулювання.

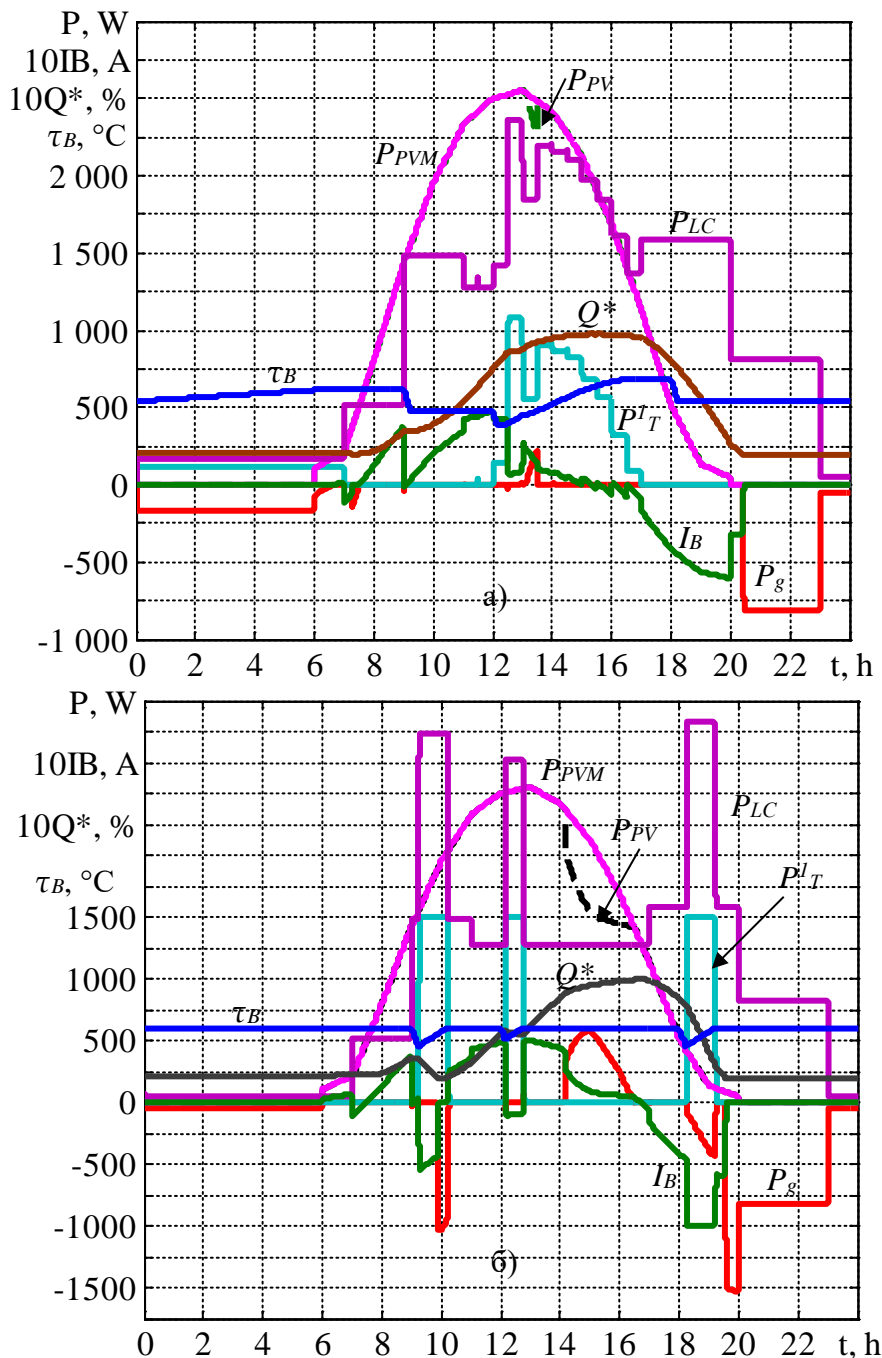
Аналогічні дані наведені в табл. 3 для дня липня з генерацією, що близька до середньомісячної, що свідчать про повне використання енергії ФБ за регулювання потужності бойлеру при змінюванні споживання енергії на кондиціонування.

Таблиця 3

**Показники системи за середньомісячної генерації ФБ**

C	Регулювання потужності бойлеру						Підтримання температури води в бойлері					
	$W_{LC}$ , Вт·год	$W_g$ , Вт·год	$W_T$ , Вт·год	$k_{E3}$	$k_{E2}$	$k_{E1}$	$W_{LC}$ , Вт·год	$W_g$ , Вт·год	$W_T$ , Вт·год	$k_{E3}$	$k_{E2}$	$k_{E1}$
0	14340	0,15	3874	21,57	15,75	9,36	15710	1128	3880	$\frac{6,33}{4,65}$	$\frac{6,25}{4,33}$	$\frac{5,94}{4,19}$
0,2	14980	22,4	3878	9,84	7,57	5,21	17470	122	3880	$\frac{5,11}{4,97}$	$\frac{5,36}{5,16}$	$\frac{5,16}{4,98}$
0,4	15740	1,8	3880	6,12	5,17	3,83	19230	0	3880	3,59	3,99	3,9

На рис. 6 наведено осцилограми загальної потужності навантаження  $P_{LC}$ , потужності, що споживається з мережі  $P_g$ , потужності бойлеру  $P^I_T$ , потужності ФБ в режимі МРРТ  $P_{PVМ}$ , потужності ФБ, що використовується на споживання  $P_{PV}$ , ступеню заряду АКБ  $Q^*$ , струму АКБ  $I_B$ , температури води в бойлері  $t_B$  за максимальної генерації ФБ та  $C = 0,8$ . На рис. 6, а осцилограми відповідають роботі з регулюванням потужності, на рис.6,б робота з підтриманням заданого значення  $t_B$ .



**Рис. 6. Осцилограми процесів в системі за максимальної генерації ФБ:  
 а) в разі регулювання потужності бойлеру; б) без регулювання потужності бойлеру**

На рис. 7 наведено аналогічні осцилограми для дня липня з середньомісячною генерацією за  $C=0$ . В даному випадку також забезпечується виключення споживання електроенергії з мережі в вечірній пік.

За низької генерації формування графіку  $Q(t)$ , коли заряд АКБ до 100% не можливий можна використовувати стандартний режим роботи бойлеру з підтриманням температури води на заданому значенні.

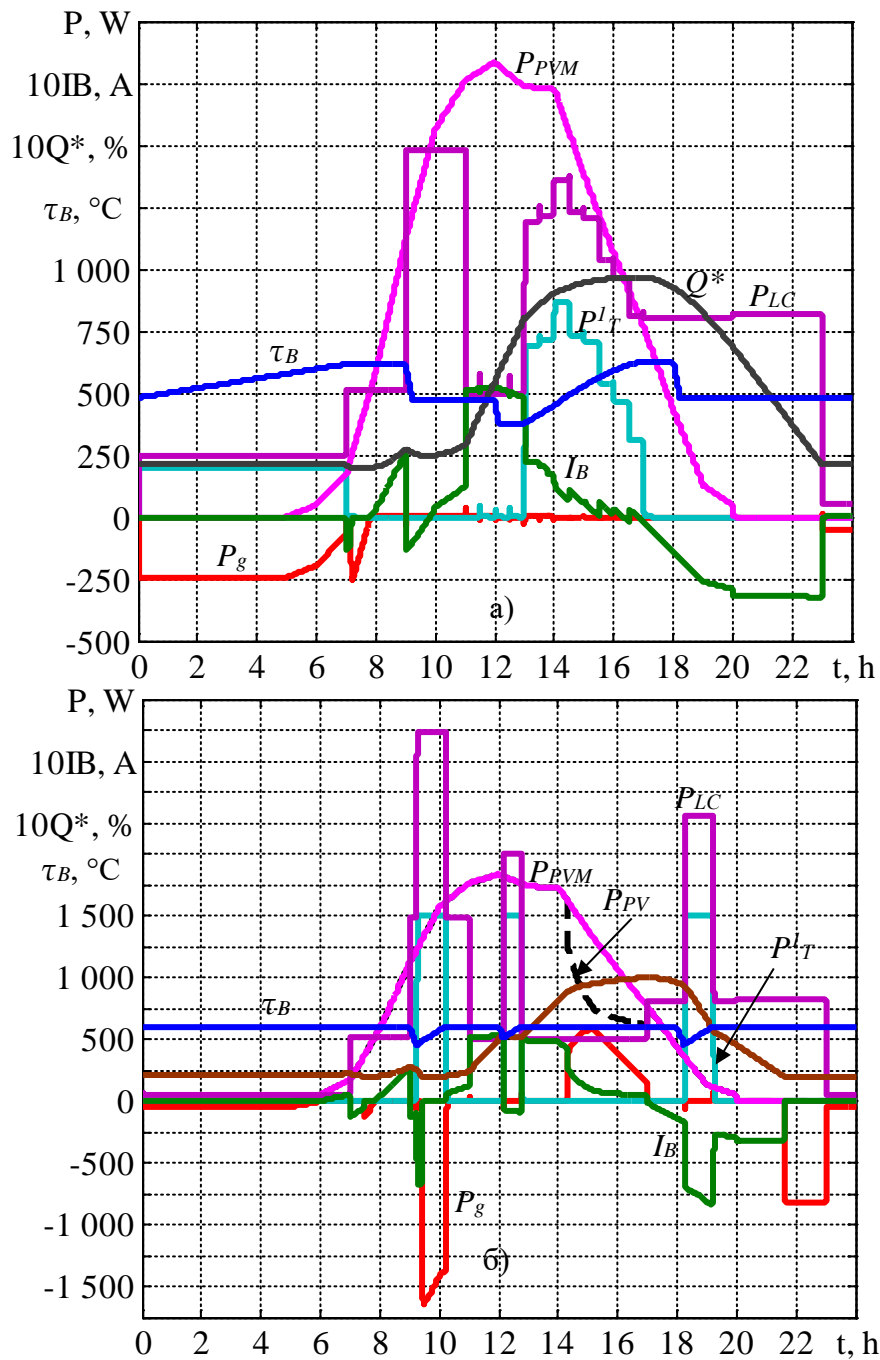


Рис. 7. Осцилограми процесів в системі за середньомісячної генерації ФБ в липні:  
 а) в разі регулювання потужності бойлеру; б) без регулювання потужності бойлеру

Таблиця 3

Результати моделювання для похмурого дня липня

Варіант	$k_{E3}$	$k_{E2}$	$k_{E1}$
1	1,346	1,423	1,416
2	1,775	1,706	1,437
3	2	1,858	1,437

Результати моделювання для похмурого дня липня за генерації ФБ, що становить 0,23 від максимальної наведено в табл. 3: варіант 1 без використання нічного заряду АКБ; варіант 2 з використанням нічного заряду АКБ; варіант 3 з нічним зарядом АКБ та підігрівом води до максимальної температури 75°C та підтримуючим підігрівом вдень. Осцилограми для варіанту 3 наведені на рис. 8.

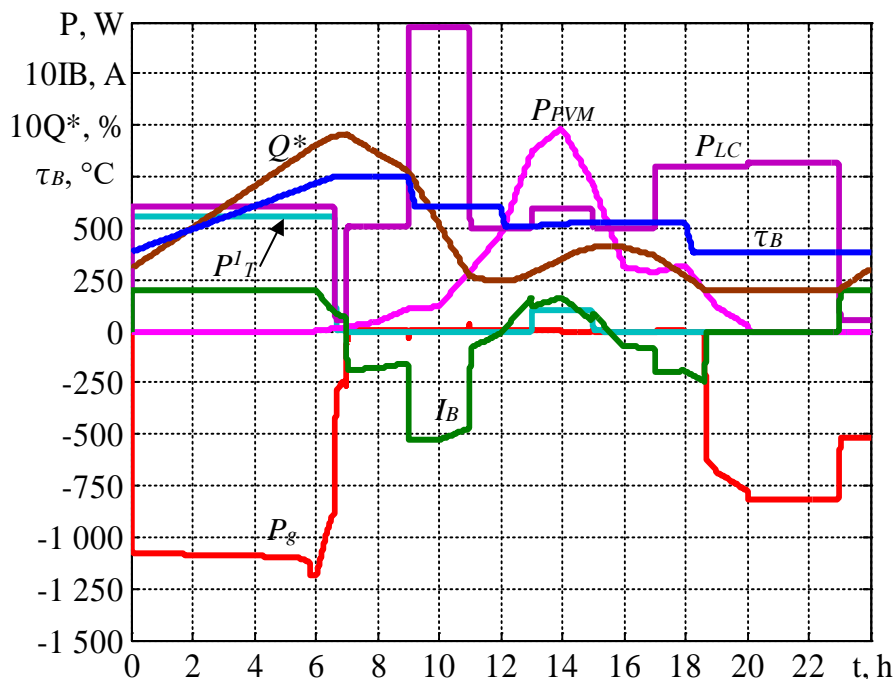


Рис. 8. Осцилограми процесів в системі для похмурого дня липня

**Висновки.** Показана можливість складання 7 рівноцінних сценаріїв енергоспоживання (на тиждень) з плануванням життєдіяльності родини протягом доби. За цього використано планування енерговитратних операцій в часі без введення суттєвих обмежень при відхиленні загального енергоспоживання, що не перевищує 10%.

Запропонована структура передбачає введення блока керування з контролем ступеню заряду АКБ, датчиком температури води бойлера та регулятором потужності. В налаштуванні гібридного мережевого інвертора ФЕС задається обмеження максимального ступеню розряду АКБ. В схемі регулятора потужності використовується випрямляч з ШІМ регулюванням вихідної напруги, що підключається до ТЕНу. Параметри схеми регулятора визначаються за умови забезпечення THD струму, що споживається з мережі не вище 7 %.

Встановлена потужність ФБ обирається за умови забезпечення енергоспоживання оселі та заряду АКБ на інтервалі часу (7:00–17:00) для дня влітку з максимальною генерацією ФБ за архівними даними.

Регулювання потужності бойлеру здійснюється на інтервалі (11:00–17:00) з дискретністю в часі  $\Delta t$  за відхиленням графіку ступеню заряду АКБ  $Q(t)$  від заданого  $Q_R(t)$ . Графік  $Q_R(t)$  має східчасту форму з прийнятою дискретністю в часі та визначається за експоненційним законом. Початкове значення встановлюється за вимірним значенням  $Q$ .

Розроблено модель для дослідження енергетичних процесів в бойлері з завданням добового графіку об'єму споживання теплої води заданої температури і функцією термостату. Модель бойлеру та блоку керування введені до складу загальної моделі системи.

За дискретністю  $\Delta t = 0,5$  години і прийнятого графіку споживання теплої води з температурою 37 °C для дня з максимальною генерацією ФБ в разі змінювання відносного

значення енергоспоживання кондиціонера ( $C$ ) значення невикористаної енергії ФБ не перевищує 1% відносно загального споживання. Аналогічна картина за цих же умов має місце для дня влітку з середньою генерацією. За максимальної генерації ФБ для  $C = 0,8$  для однієї ставки тарифу маємо значення  $k_{EI} = 7,18/7,07$ . Для порівняння, за відсутності регулювання і підтриманні заданого значення температури води в бойлері (за того ж споживання теплої води) маємо генерацію енергії в мережу  $W_g=888$  Вт·год і значення  $k_{EI} = 4,66$  (зниження в 1.52 рази). В цьому разі генерація оплачується як споживання. Якщо використовується регулювання потужності ФБ, то маємо невикористану енергію ФБ 888 Вт·год і значення  $k_{EI} = 5,68$  (зниження в 1.26 рази). За середньомісячної генерації ФБ в липні маємо зниження, відповідно, в  $9,36/4,19=2,23$  рази та  $9,36/5,94=1,57$ . Ще більш суттєвий ефект досягається за двох та трьох тарифів.

Подальший напрямок роботи пов'язаний з забезпеченням температурних режимів з врахуванням змінювання споживання та розвитком принципів реалізації запропонованих рішень з використанням даних прогнозу.

### References

1. Conext SW. Hybrid Inverter. URL: <https://www.se.com/ww/en/product-range-presentation/61645-conext-sw/>
2. ABB solar inverters. Product manual REACT-3.6/4.6-TL (from 3.6 to 4.6 kW). URL: <https://www.abb.com/solarinverters>.
3. Photovoltaic geographical information system. URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#SA](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA).
4. Nayanatara, C., Divya, S., Mahalakshmi, E. (2018). Micro-Grid Management Strategy with the Integration of Renewable Energy Using IoT. In: *Proceedings of the 2018 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, Chennai, India, 28–29 March 2018; pp. 160–165.
5. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Romanchenko, J., Marchenko, R., Yakymets, S. (2022). Installed Power of the Grid-Tied Photovoltaic System with Battery for Self-Consumption of the Local Object. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 2022; pp. 1–6, DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005628.
6. Shavolkin, O., Shvedchykova, I. (2020). Improvement of the multifunctional converter of the photoelectric system with a storage battery for a local object with connection to a grid. *Proceedings of the IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2020, P. 287–292, DOI: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250096.
7. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Kolcun, M., Medved', D. (2023). Improvement of a Hybrid Solar-Wind System for Self-Consumption of a Local Object with Control of the

### Література

1. Conext SW. Hybrid Inverter. URL: <https://www.se.com/ww/en/product-range-presentation/61645-conext-sw/>
2. ABB solar inverters. Product manual REACT-3.6/4.6-TL (from 3.6 to 4.6 kW). URL: <https://www.abb.com/solarinverters>.
3. Photovoltaic geographical information system. URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#SA](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA).
4. Nayanatara C., Divya S., Mahalakshmi E. Micro-Grid Management Strategy with the Integration of Renewable Energy Using IoT. In: *Proceedings of the 2018 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, Chennai, India, 28–29 March 2018. P. 160–165.
5. Shavolkin O., Shvedchykova I., Romanchenko J., Marchenko R., Yakymets S. Installed Power of the Grid-Tied Photovoltaic System with Battery for Self-Consumption of the Local Object. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine, 2022. P. 1–6. DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005628.
6. Shavolkin O., Shvedchykova I. Improvement of the multifunctional converter of the photoelectric system with a storage battery for a local object with connection to a grid. *Proceedings of the IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. P. 287–292. DOI: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250096.
7. Shavolkin O., Shvedchykova I., Kolcun M., Medved' D. Improvement of a Hybrid Solar-Wind System for Self-Consumption of a Local Object with Control of the Power Consumed

- Power Consumed from the Grid. *Energies*, Vol. 15, No. 16, P. 5851, <https://doi.org/10.3390/en16155851>.
8. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Lishchuk, V., Stanovskyi, Y. (2023). Improving a model of the hybrid photovoltaic system with a storage battery for local object's self-consumption involving the setting of power consumed from the grid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 8 (123), No. 3, P. 6–16, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280053/>
9. Pater, S. (2023). Increasing Energy Self-Consumption in Residential Photovoltaic Systems with Heat Pumps in Poland. *Energies*, Vol. 10, No. 16, P. 4003, <https://doi.org/10.3390/en16104003>.
10. Andres Annuk, Erkki Jõgi, Heiki Lill, Janar Kalder, Mihkel Härm, Sergei Trashchenkov, Alo All (2018). Augmentation of Self-Consumption of Electricity by Using Boilers and Batteries for Residential Buildings. *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, October 2018, DOI: [10.1109/ICRERA.2018.8566872](https://doi.org/10.1109/ICRERA.2018.8566872).
11. Zelba, M., Deveikis, T., Barauskas, J., Baronas, A., Gudžius, S., Jonaitis, A., Giannakis, A. (2022). A Grid-Tied Inverter with Renewable Energy Source Integration in an Off-Grid System with a Functional Experimental Prototype. *Sustainability*, Vol. 2, No. 14, P. 13110, <https://doi.org/10.3390/su142013110>.
12. M. Usman Saleem, Mustafa Shakir, M. Rehan Usman, M. Hamza Tahir Bajwa, Noman Shabbir, Payam Shams Ghahfarokhi and Kamran Daniel (2023). Integrating Smart Energy Management System with Internet of Things and Cloud Computing for Efficient Demand Side Management in Smart Grids. *Energies*, Vol. 12, No. 16, P. 4835, <https://doi.org/10.3390/en16124835>.
13. Iker Diaz de Cerio Mendaza, Birgitte Bak-Jensen, Zhe Chen (2013). Electric Boiler and Heat Pump Thermo-Electrical Models for Demand Side Management Analysis in Low Voltage Grids. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, Vol. 1, No. 2, P. 52–59, DOI: 10.12720/sgce.2.1.52-59.
14. Simplified Model of a Small Scale Micro-Grid-MATLAB & Simulink. MathWorks – Makers of MATLAB and Simulink – MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/simplified-model-of-a-small-scale-micro-grid.html>.
- from the Grid. *Energies*. 2023. Vol. 15, No. 16. P. 5851. <https://doi.org/10.3390/en16155851>.
8. Shavolkin O., Shvedchykova I., Lishchuk V., Stanovskyi Y. Improving a model of the hybrid photovoltaic system with a storage battery for local object's self-consumption involving the setting of power consumed from the grid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 8 (123). No. 3. P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280053/>
9. Pater S. Increasing Energy Self-Consumption in Residential Photovoltaic Systems with Heat Pumps in Poland. *Energies*. 2023. Vol. 10. No. 16. P. 4003. <https://doi.org/10.3390/en16104003>.
10. Andres Annuk, Erkki Jõgi, Heiki Lill, Janar Kalder, Mihkel Härm, Sergei Trashchenkov, Alo All. Augmentation of Self-Consumption of Electricity by Using Boilers and Batteries for Residential Buildings. *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*. October 2018. DOI: [10.1109/ICRERA.2018.8566872](https://doi.org/10.1109/ICRERA.2018.8566872).
11. Zelba M., Deveikis T., Barauskas J., Baronas A., Gudžius S., Jonaitis A., Giannakis A. A Grid-Tied Inverter with Renewable Energy Source Integration in an Off-Grid System with a Functional Experimental Prototype. *Sustainability*. 2022. Vol. 2. No. 14. P. 13110. <https://doi.org/10.3390/su142013110>.
12. M. Usman Saleem, Mustafa Shakir, M. Rehan Usman, M. Hamza Tahir Bajwa, Noman Shabbir, Payam Shams Ghahfarokhi and Kamran Daniel. Integrating Smart Energy Management System with Internet of Things and Cloud Computing for Efficient Demand Side Management in Smart Grids. *Energies*. 2023. Vol. 12, No. 16, P. 4835, <https://doi.org/10.3390/en16124835>.
13. Iker Diaz de Cerio Mendaza, Birgitte Bak-Jensen, Zhe Chen. Electric Boiler and Heat Pump Thermo-Electrical Models for Demand Side Management Analysis in Low Voltage Grids. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. 2013. Vol. 1, No. 2. P. 52–59. DOI: 10.12720/sgce.2.1.52-59.
14. Simplified Model of a Small Scale Micro-Grid-MATLAB & Simulink. MathWorks – Makers of MATLAB and Simulink – MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/simplified-model-of-a-small-scale-micro-grid.html>.

15. Mukul Singh and Omveer Singh (2019). Phasor Solution of a Micro-Grid to Accelerate Simulation Speed 2nd International Conference on Advanced Computing and Software Engineering (ICACSE-2019), P. 546–550. URL: <https://ssrn.com/abstract=3351025>.
16. Data sheet. LITHIUM IRON PHOSPHATE (LIFEPO4) BATTERY 12.8V 150Ah. URL: <https://www.enix-energies.com>.
17. OPzV12-100 (12V100Ah) HENGYANG RITAR POWER CO., LTD. URL: <https://www.ritarpower.com>.
15. Mukul Singh and Omveer Singh. Phasor Solution of a Micro-Grid to Accelerate Simulation Speed 2nd International Conference on Advanced Computing and Software Engineering (ICACSE-2019). 2019. P. 546–550. URL: <https://ssrn.com/abstract=3351025>.
16. Data sheet. LITHIUM IRON PHOSPHATE (LIFEPO4) BATTERY 12.8V 150Ah. URL: <https://www.enix-energies.com>.
17. OPzV12-100 (12V100Ah) HENGYANG RITAR POWER CO., LTD. URL: <https://www.ritarpower.com>.

**SHAVOLKIN OLEXANDER**  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Computer Engineering  
and Electromechanics,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3914-0812>  
Researcher ID: T-2652-2018  
E-mail: [shavolkin@gmail.com](mailto:shavolkin@gmail.com)

**PIDHAINYI MYKOLA**  
PhD student, Department of Computer  
Engineering and Electromechanics,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4816-902X>  
E-mail: [pidhainyi.mykola@gmail.com](mailto:pidhainyi.mykola@gmail.com)

**SHAVOLKIN O. O., PIDHAINYI M. O.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

## **USE OF AN ELECTRIC BOILER IN THE POWER SUPPLY SYSTEM TO PROVIDE THE SELF-CONSUMPTION OF THE RESIDENTIAL HOUSE WITH A HYBRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM**

**Purpose.** Increasing the efficiency of a hybrid photovoltaic system with a storage battery for the residential house needs by regulating the power of the electric boiler to maximize the use of photovoltaic battery energy for self-consumption, developing the principles of implementing an energy management system.

**Methodology.** Planning the residential house energy consumption. Analysis of energy processes in the warm water supply system and in the electrical circuits of the photovoltaic power system using computer modeling to assess the effectiveness of energy management.

**Results.** The structure of a boiler power regulator has been developed to ensure a current consumption close to a sinusoid for the entire adjustment range. Mathematical model of a boiler in a system for providing a house with warm water. Photovoltaic system structure with the introduction of a unit for forming the state of the storage battery charge and a boiler power regulator.

**Originality.** Proposed to form the graph of storage battery state of charge with regulation of the power consumed by the boiler according to deviation from the specified graph. This will contribute to more complete utilization of the photovoltaic battery energy and decrease the consumption of electricity from the grid. The possibility of using energy consumption scenarios with planning family life activities during the day without significant restrictions is substantiated. The boiler model has been improved in the daily operating cycle with a warm water consumption schedule. The structure of the model of energy processes in the power supply system of a house for the daily cycle of operation has been developed with the boiler model introduction that takes into account its temperature regime.

**Practical value.** The obtained solutions are the basis for the design of photovoltaic systems to provide the needs of residential homes.

**Keywords:** hybrid photovoltaic system; energy consumption scenarios; boiler energy consumption management; formation the batteries state of charge; modeling of energy processes.

УДК 677.072:  
677.494:677.01

ДМИТРИК О. М., ГАЛАВСЬКА Л. Є.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ОДЕРЖАННЯ ТРИКОТАЖУ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК НА ФОРМУ ПЕТЕЛЬ ТА ПАРАМЕТРИ ЙОГО СТРУКТУРИ

**Мета.** Визначити вплив виду сировини підвищеної міцності та щільності в'язання на параметри структури та форму петель трикотажного матеріалу, виробленого на рукавичковому автоматі з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток шляхом реалізації активного експерименту та встановити регресійні моделі, які на етапі проектування трикотажного матеріалу дозволяють прогнозувати його властивості.

**Методика.** У роботі використано основи текстильного матеріалознавства та теорії в'язання, методи аналізу та узагальнення отриманих результатів. Для визначення параметрів структури одержаних трикотажних матеріалів використано експериментальні методи досліджень за стандартними методиками. Обробка результатів експерименту та побудова графіків виконано за допомогою програми Microsoft Excel за середніми значеннями показників. У процесі дослідження використано метод лінійного регресійного аналізу при традиційному плануванні активного експерименту.

**Результати.** Для забезпечення нормального перебігу процесу петлетворення при виробленні на рукавичковому автоматі ПА-8-33 8 класу трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток лінійної густини 44текс×3 встановлено мінімальний та максимальний рівень глибини кулірування а саме для поліетиленової нитки  $h_{\min} = 3.55$ ,  $h_{\max} = 3.95$  мм; для пара-арамідної нитки  $h_{\min} = 3.4$ ,  $h_{\max} = 3.8$  мм. Шляхом реалізації активного експерименту на рукавичковому автоматі вироблено дослідні зразки трикотажного матеріалу трубчастої форми одинарним переплетенням кулірна гладь із зазначених видів ниток при 5 рівнях глибини кулірування нитки у визначеному діапазоні з кроком 0.1 мм за умови незмінного натягу нитки у процесі в'язання. У ході досліджень визначено параметри структури та характеристики форми петель одержаних трикотажних матеріалів.

**Наукова новизна.** На плосков'язальному обладнанні, оснащеному платинами, встановлено характер впливу зміни щільності в'язання трикотажного матеріалу переплетення гладь з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток на параметри структури та форму петель.

**Практична значимість.** Одержані регресійні залежності дозволяють на етапі проектування трикотажного матеріалу переплетення гладь, виробленого на рукавичковому автоматі з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток, визначати характеристики параметрів його структури й форми петель та використовувати ці дані для побудови 3D моделей в системах комп'ютерного імітаційного моделювання й прогнозування властивостей.

**Ключові слова:** пара-арамідна нитка; високомолекулярна поліетиленова нитка; високоміцний трикотажний матеріал; захисний текстиль; форма петель; переплетення гладь.

**Вступ.** В умовах, коли країна перебуває у стані повномасштабної війни, в пріоритеті стоїть забезпечення наших військових якісним речовим майном та тактичним спорядженням задля збереження життя. Для створення захисних текстильних матеріалів використовують високоміцні нитки. Такі текстильні матеріали підвищеної міцності широко застосовують у виготовленні захисного спорядження для військовослужбовців, наприклад таких як бронезилет, м'який бронезилет прихованого типу, панелі, шоломи, щитки. Найчастіше – це ткані структури, одержані з використанням високоміцних ниток. Однак, для виготовлення дрібних деталей в екіпуванні військовослужбовця, які повинні забезпечувати додатковий захист від дії механічних ушкоджень та разом з цим створювати комфортні умови експлуатації, а саме приймати задану форму у динаміці та не скутувати рухів, доречніше використовувати

саме трикотажну структуру. Це такі захисні елементи як налокітники та наколінники, чохла на шоломи, вставки для захисту обличчя, шиї, плечей та паху. За своєю будовою трикотажний матеріал є більш податливим до відтворення форми об'єкта складної конфігурації завдяки своїй нитковій будові у вигляді петель, що переплетені між собою у процесі в'язання.

Сировина підвищеної міцності є предметом досліджень вчених всього світу. Науковці у своїх наукових працях [1–3] для визначення властивостей ниток підвищеної міцності та вивчення впливу різноманітних факторів на їх зміну використовують різноманітні способи. Адже високоміцні нитки знайшли своє застосування у самих різноманітних сферах життєдіяльності людини, зокрема для виготовлення текстильних матеріалів військового призначення. Якщо говорити про комплексні багатофіламентні пара-арамідні та високомолекулярні поліетиленові нитки, то слід зазначити, що кожний з цих видів сировини має свою низку переваг. Зокрема, поліетиленові нитки стійкі до дії вологи та не втрачають своєї міцності в умовах експлуатації виробів. Пара-арамідні нитки краще себе зарекомендували у виготовленні текстильних матеріалів ткацького способу виробництва для військового екіпірування. Однак недоліком даного виду високоміцної сировини є його схильність до деструкції внаслідок теплових впливів.

Авторами роботи [4] запропоновано метод прогнозування властивостей трикотажних полотен спеціального призначення шляхом використання 3D геометричних моделей. Однак не зазначено за яких саме параметрів та умов вироблено дослідні зразки трикотажу.

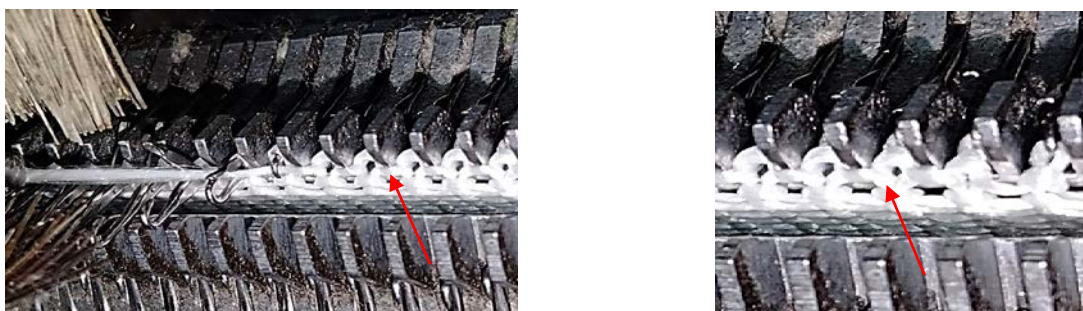
У даний час, коли технології дозволяють проводити віртуальні експерименти, які значно економлять час та сировинні ресурси, з'являється все більше наукових досліджень, реалізація яких сприяє формуванню технічної та інформаційної бази для їх реалізації. Так авторами роботи [5] розроблено метод анімаційної деформації тканих та трикотажних матеріалів, що відтворює їх характерну поведінку під час розтягування у вигляді трикутника. Однак у даній роботі не вказано ні вид сировини, а ні обладнання на якому можливе виготовлення дослідних зразків, так як усі ці фактори також впливають на форму та параметри петель. У роботі [6] представлено віртуальний підхід до сферичної деформації трикотажної структури. Результати реалізації віртуального підходу з використанням комп'ютерних систем імітаційного моделювання порівняно з даними, одержаними експериментальним шляхом. Авторами роботи виявлено, що обидві моделі забезпечують прогнозування сферичної деформації трикотажного матеріалу. Автори іншої роботи [7] акцентують увагу, що на формоутворення петель в структурі трикотажу впливає поведінка ниток. У роботі представлено силову модель, що відтворює геометрію та кінематику нитки в структурі трикотажу. Запропонований метод дозволяє відтворити зміну вигляду трикотажного матеріалу під впливом деформації його поверхні. Однак запропонований у роботі метод не враховує поведінку нитки в структурі трикотажу в залежності від типу обладнання на якому його виготовлено та характеристики ниток.

Аналіз наукових праць за напрямом досліджень дозволяє зробити висновок, що розвиток сучасних технологій, які передбачають імітаційне моделювання реальних об'єктів, актуалізує завдання зі встановлення впливу типу в'язального обладнання, технологічних параметрів в'язання й виду сировини на формоутворення петель та параметри структури трикотажного матеріалу.

**Постановка завдання.** У ході попередніх досліджень [8, 9] нами виявлено, що на зміну форми осьової лінії нитки в петлі та параметри структури трикотажу впливає не лише вид надміцних ниток, але й тип в'язального обладнання. При цьому у роботі [8] не ставилося за мету проведення регресійного аналізу з визначення залежностей, що описують вплив технологічних параметрів на параметри структури та властивості трикотажу. Саме це стало напрямом для подальших досліджень.

У роботі [9] представлено результати дослідження формоутворення петель в структурі кулірного трикотажу, виробленого з пара-арамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток. Однак одержані трикотажні матеріали для проведення досліджень вироблено на іншому типі плосков'язального обладнання. Забезпечення загального зусилля відтягування на в'язальному обладнанні типу ПВРК призводить до переорієнтації нитки в петлях у поздовжньому напрямку.

У ході попередніх досліджень нами виявлено, що у разі вироблення трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні типу ПВРК із загальним зусиллям відтягування полотна, що забезпечується гребінкою з тягарцями, під дією цього зусилля ще у процесі в'язання відбувається перерозподіл нитки з голкових та платинних дуг петель у палички (рис. 1). Внаслідок цього нитка в петлях зорієнтована у напрямку петельних стовпчиків.



**Рис. 1. Процес формування петель на плосков'язальній машині типу ПВРК 8 класу: відбійною площиною слугують відбійні зубці голечниці**

При цьому на іншому типі плосков'язального обладнання – рукавичковому автоматі (ПА-8-33) зусилля відтягування полотна забезпечується завдяки наявності платин, які створюють своїм підборіддям відбійну площину при формуванні петель заданого розміру та утримують своїми горловинами платинні дуги петель від підйому разом з голкою під час виконання операції замикання (рис. 2). Ця відмінність у виконанні операцій процесу петлетворення впливає як на формоутворення петель, так і на параметри структури трикотажного матеріалу.



**Рис. 2. Процес формування петель на плосков'язальному рукавичковому автоматі ПА-8-33: відбійною площиною слугують підборіддя платин**

Таким чином, доцільним є встановлення регресійних залежностей, що описують вплив зміни щільності в'язання та виду надмічної сировини на структуроутворення трикотажного матеріалу, виробленого з надмічних високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток на в'язальному обладнанні іншого типу – рукавичковому автоматі.

**Об'єкти і методи досліджень.** Об'єктом дослідження є процес формоутворення петель в структурі трикотажу, виробленого з високоміцних пара-арамідних та високомолекулярних

поліетиленових ниток внаслідок зміни у процесі в'язання трикотажу на рукавичковому автоматі 8 класу глибини кулірування.

Для забезпечення нормального перебігу процесу петлетворення на рукавичковому автоматі ПА-8-33 у ході попереднього експерименту з використанням двох видів високоміцних ниток (пара-арамідної та високомолекулярної поліетиленової лінійної густини 44текс×3 компанії Shaanxi Sunriseetech Co., Ltd., Китай) встановлено мінімальний та максимальний рівні глибини кулірування. У разі переробки високомолекулярної поліетиленової нитки вони складають  $h_{\min} = 3.55$  та  $h_{\max} = 3.95$  мм; для пара-арамідної нитки:  $h_{\min} = 3.4$ ,  $h_{\max} = 3.8$  мм.

Визначення характеристик форми петель в структурі трикотажу виконано з використанням цифрового мікроскопа USB Digital microscope MM-2288-5X-BH та спеціалізованого програмного забезпечення SHINY VISION для роботи з макрозображеннями, одержаними в результаті зйомки.

Для реалізації задач досліджень обрано метод регресійного аналізу та одержання однофакторних математичних моделей за результатами реалізації активного експерименту.

**Результати досліджень.** З метою реалізації активного експерименту [10] на рукавичковому автоматі 8 класу вироблено дослідні зразки трикотажного матеріалу трубчастой форми одинарним переплетенням кулірна гладь із зазначених видів ниток при 5 рівнях глибини кулірування нитки у визначеному діапазоні з кроком 0,1мм за умови незмінного натягу нитки у процесі в'язання. У ході дослідження одержано адекватні регресійні математичні залежності, що описують вплив збільшення глибини кулірування у заданому діапазоні (для поліетиленової нитки  $h = 3.55 \div 3.95$  мм; для пара-арамідної нитки  $h = 3.4 \div 3.8$  мм) на параметри структури та параметри, що характеризують форму петель. На рис. 3 та рис. 4 наведено графіки залежності відповідних параметрів структури від зміни щільності в'язання та одержані лінійні однофакторні регресійні математичні залежності, на основі яких їх побудовано. Представлені графіки наглядно ілюструють лінійний характер залежностей та відхилення даних, отриманих теоретичним шляхом від експериментальних.

Виявлено, що збільшення глибини кулірування у обраному діапазоні призводить до збільшення довжини нитки в петлі трикотажного матеріалу з поліетиленових ниток на 8%, з пара-арамідних – на 7,3%; товщини трикотажу з поліетиленових ниток на 2,7% та з пара-арамідних – на 4,6%. При цьому характер зміни параметрів щільності в'язання в досліджуваних зразках з поліетиленових та пара-арамідних ниток відрізняється. Так, зі збільшенням глибини кулірування у заданому діапазоні кількість петельних стовпчиків у 100мм трикотажу з поліетиленових ниток зростає на 3,5%, а у разі використання пара-арамідних ниток навпаки зменшується на 3,9%; кількість петельних рядів у 100мм трикотажу зменшується як у випадку використання поліетиленових, так і пара-арамідних, відповідно на 19,3% та 16,2%. Збільшення показника щільності по горизонталі зі зменшенням щільності в'язання внаслідок збільшення довжини нитки в петлі в структурі трикотажного матеріалу з поліетиленових ниток обумовлено проявом пружних властивостей даного виду сировини і зміною геометрії осьової лінії нитки в петлі в області голкових та платинних дуг. Під час формування петель довжина відрізка нитки, що припадає на ділянки голкової та платинної дуг обумовлена робочими розмірами тих ділянок голки та платини, які задіяні під час згинання нитки в петлю. Фіксація петель від підйому разом з голкою відбувається в області платинних дуг за допомогою горловин платин. Саме цей факт обумовлює сталу величину відрізка нитки в області платинної дуги. При цьому збільшення довжини нитки в петлі та зосереджене на платинних дугах зусилля відтягування й властивості високомолекулярної поліетиленової нитки призводять до збільшення довжини паличок петель та зменшення ширини петель.

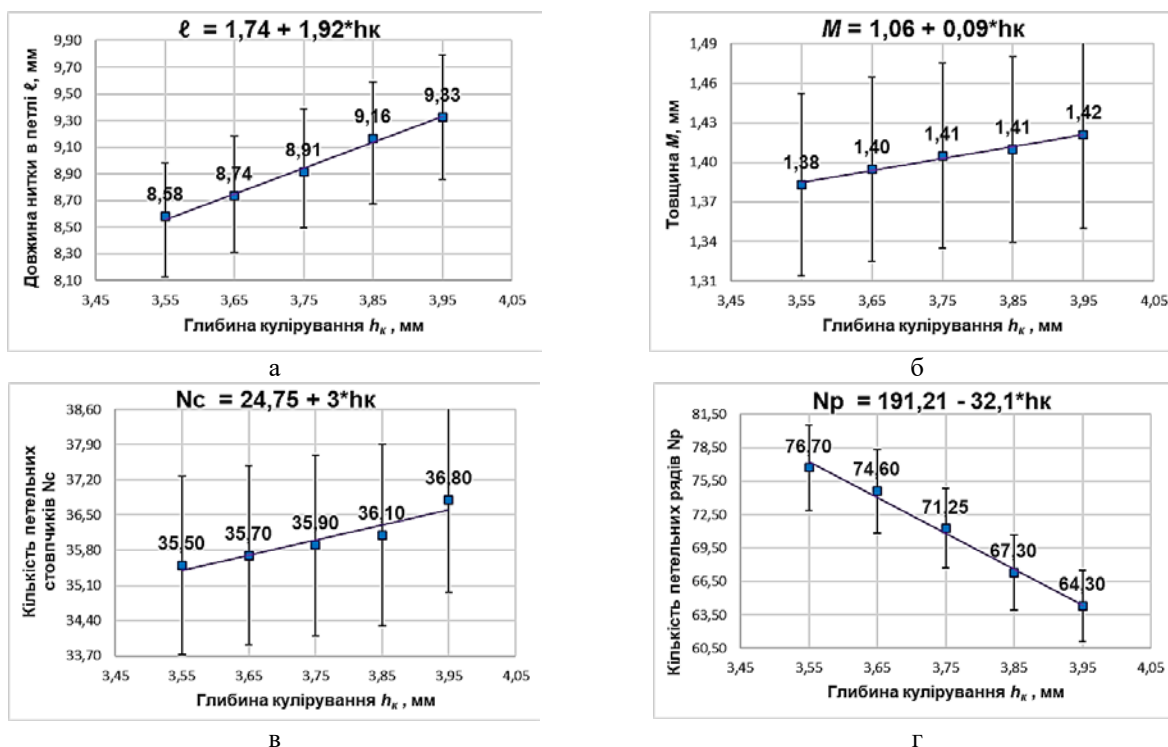


Рис. 3. Графіки залежності параметрів структури від глибини кулірування трикотажу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток: а – довжина нитки в петлі трикотажу; б – товщина трикотажу; в – кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу; г – кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу

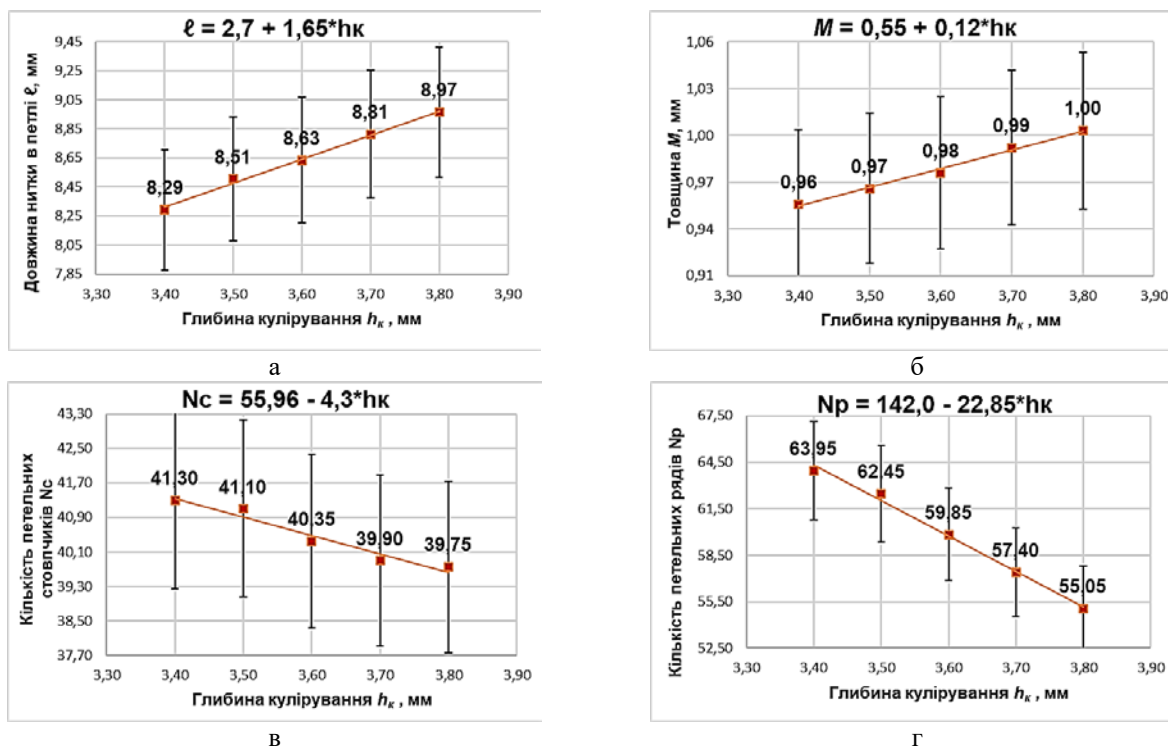


Рис. 4. Графіки залежності параметрів структури від глибини кулірування трикотажу, виробленого з пара-арамідних ниток: а – довжина нитки в петлі трикотажу; б – товщина трикотажу; в – кількість петельних стовпчиків у 100мм трикотажу; г – кількість петельних рядів у 100мм трикотажу

Слід також відзначити, що незважаючи на те, що для виготовлення дослідних зразків використано нитку однакової лінійної густини, у випадку використання високомолекулярної поліетиленової нитки отримуємо трикотажний матеріал більшої товщини, що обумовлено властивостями даного виду високоміцних ниток (більша об'ємна маса та менша густина речовини нитки призводять до більшої її товщини за умови однакової лінійної густини з пара-арамідною ниткою).

У ході реалізації активного експерименту досліджено також вплив зміни щільності в'язання на наступні характеристики форми петлі трикотажного матеріалу переплетення гладь: площа петлі, кут нахилу паличок остова петлі, кут нахилу дотичної у точці переплетення. На підставі одержаних математичних моделей побудовано графіки залежності досліджуваних параметрів форми петлі від зміни глибини кулірування нитки у заданому діапазоні. Представлені на рис. 5 та рис. 6. графіки наглядно ілюструють вплив зміни довжини нитки в петлі на характеристики форми петлі трикотажного матеріалу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток.

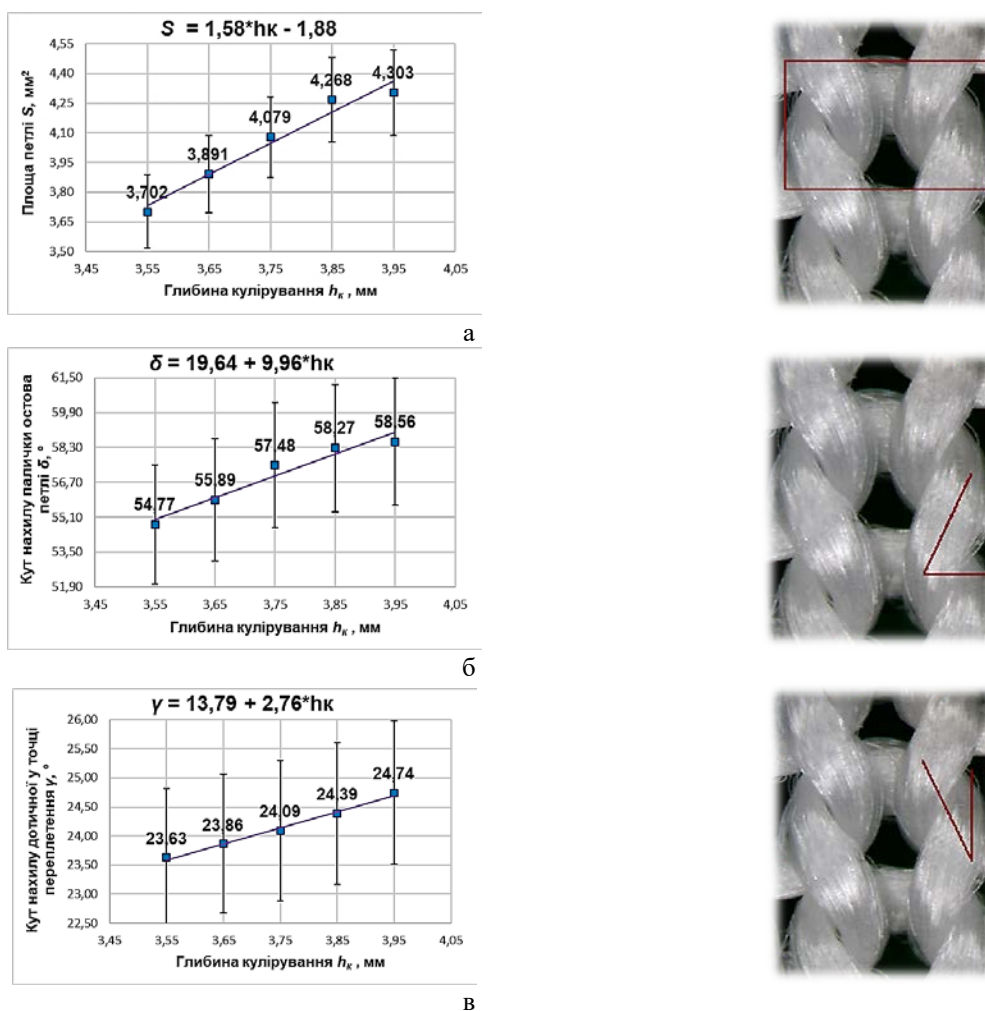


Рис. 5. Макрофотографії петель та графіки залежності характеристик формоутворення петель в структурі трикотажу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток, від зміни глибини кулірування: а – площа петлі трикотажу; б – кут нахилу паличок остова петлі трикотажу; в – кут нахилу дотичної у точці переплетення ниток в петлі трикотажу

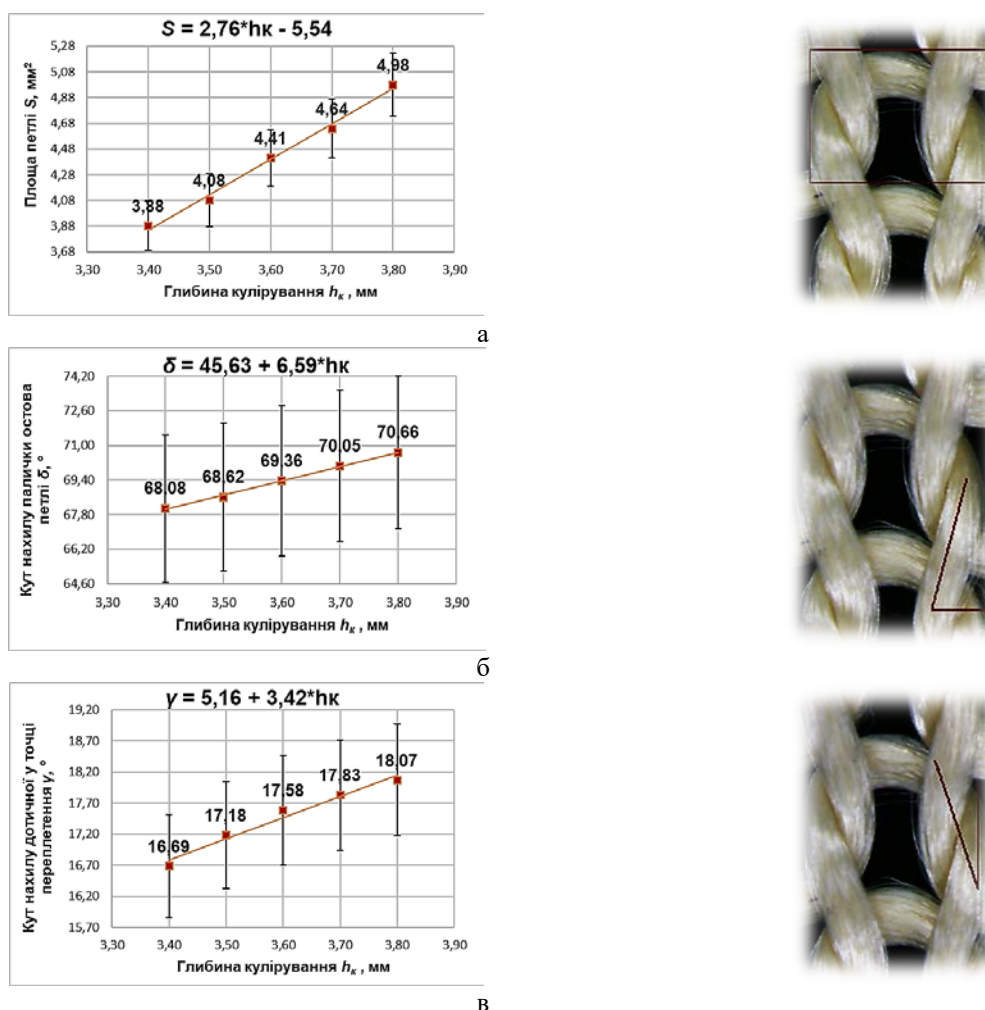


Рис. 6. Макрофотографії та графіки залежності характеристик формоутворення петель в структурі трикотажу, виробленого з пара-арамідних ниток, від зміни глибини кулірування: а – площа петлі трикотажу; б – кут нахилу палички остова петлі трикотажу; в – кут нахилу дотичної у точці переплетення ниток в петлі трикотажу

Як видно з рис. 5 та рис. 6 параметри форми петель трикотажного матеріалу зі збільшенням глибини кулірування змінюються наступним чином: площа петлі, від якої залежить пористість структури, а відповідно в подальшому і стійкість до механічних впливів (тертя, проколу) збільшується у разі використання поліетиленових ниток на 14% та пара-арамідних – на 22,10%; кут нахилу дотичної у точці переплетення на 4,5% та 7,6%; кут нахилу палички остова петлі збільшується на 6,5% та 3,7% відповідно для трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток.

**Висновок:** Одержані у ході реалізації активного експерименту однофакторні регресійні математичні залежності дозволять у відповідності до обраного рівня глибини кулірування нитки на плосков'язальному обладнанні з платинами визначати на етапі проектування параметри структури та характеристики форми петель трикотажних матеріалів з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток.

Встановлені математичні моделі, що описують вплив щільності в'язання на характеристики форми петель, важливі для подальшого 3D моделювання структури трикотажного матеріалу у відповідності до обраної глибини кулірування та їх використання у віртуальних експериментах з визначення механічних характеристик трикотажу й

прогнозування його властивостей. Такі комп'ютерні системи імітаційного моделювання не потребують наявності технологічного обладнання та витрат сировинних ресурсів для виготовлення дослідних зразків. Однак їх використання передбачає створення віртуальних об'єктів, які відповідають реальним. Створення 3D моделей трикотажних матеріалів ускладнюється нестабільністю й нерівномірністю структури, обумовленої фізико-механічними характеристиками ниток, зігнутих в петлі. Саме вивчення характеру зміни форми петель під впливом технологічних параметрів у процесі в'язання дозволяє вирішити питання подальшого одержання параметричних 3D моделей петлі трикотажу.

## References

1. Deitzel, J. M., McDaniel, P., Gillespie, J. W. (2017). High-performance polyethylene fibers. *Structure and Properties of High-Performance Fibers*, P. 167–185. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00007-3>.
2. Zhang, J. M., Mousavi, Z., Soykeabkaew, N., Smith, P., Nishino, T., Peijs, T. (2010). All-Aramid Composites by Partial Fiber Dissolution. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2(3), P. 919–926. <https://doi.org/10.1021/am900859c>.
3. Engr. Reashad Bin Kabir, Engr. Nasrin Ferdous (2012). Kevlar-The Super Tough Fiber. *International Journal of Textile Science*, Vol. 1, No. 6, P. 78–83. DOI: 10.5923/j.textile.20120106.04.
4. Bobrova S., Ielina T., Beskin N., Bezsmertna V., Halavska L. (2018). The use of 3D geometric models in special purpose knitwear design and predicting of its properties. *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)*, № 2, Vol. 25, P. 19–26. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9778>.
5. Sperl, G., Narain, R., Wojtan, C. (2021). Mechanics-aware deformation of yarn pattern geometry. *ACM Transactions on Graphics*, 40(4), P. 1–11. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459816>
6. Abghary, M. J., Nedoushan, R. J., Hasani, H. (2016). Simulation of the spherical deformation of biaxial weft-knitted fabrics using meso and macro models. *Fibers and Polymers*, 17(10), P. 1702–1708. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6511-y>.
7. Cirio, G., Lopez-Moreno, J., Otaduy, M. A. (2015). Efficient simulation of knitted cloth using persistent contacts. *SCA '15: Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH Eurographics Symposium on Computer Animation*. P. 55–61. <https://doi.org/10.1145/2786784.2786801>.
8. Dmytryk, O. M., Bezsmertna, V. I., Halavska, L. Ye. (2020). Vplyv typu ploskov'язal'nogo obladnannya 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

## Література

1. Deitzel J. M., McDaniel P., Gillespie J. W. High-performance polyethylene fibers. *Structure and Properties of High-Performance Fibers*. 2017. P. 167–185. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00007-3>.
2. Zhang J. M., Mousavi Z., Soykeabkaew N., Smith P., Nishino T., Peijs T. All-Aramid Composites by Partial Fiber Dissolution. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2010. 2(3). P. 919–926. <https://doi.org/10.1021/am900859c>.
3. Engr. Reashad Bin Kabir, Engr. Nasrin Ferdous, Kevlar-The Super Tough Fiber. *International Journal of Textile Science*. 2012. Vol. 1, No. 6. P. 78–83. DOI: 10.5923/j.textile.20120106.04.
4. Bobrova S., Ielina T., Beskin N., Bezsmertna V., Halavska L. The use of 3D geometric models in special purpose knitwear design and predicting of its properties. *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)*. 2018. № 2, Vol. 25. P. 19–26. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9778>.
5. Sperl G., Narain R., Wojtan C. Mechanics-aware deformation of yarn pattern geometry. *ACM Transactions on Graphics*. 2021. 40(4). P. 1–11. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459816>.
6. Abghary M. J., Nedoushan R. J., Hasani H. Simulation of the spherical deformation of biaxial weft-knitted fabrics using meso and macro models. *Fibers and Polymers*. 2016. 17(10). P. 1702–1708. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6511-y>.
7. Cirio G., Lopez-Moreno J., Otaduy M. A. Efficient simulation of knitted cloth using persistent contacts. *SCA '15: Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH Eurographics Symposium on Computer Animation*. 2015. P. 55–61. <https://doi.org/10.1145/2786784.2786801>.
8. 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.

combination with metal monofilament]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*, 1: 80–86 [in Ukrainian].

9. Dmytryk, O., Bobrova, S., Halavska, L. (2022). The influence of knitting parameters on the structure parameters and loop shape of knitted material from high-strength yarn. *VI International Scientific-Practical Conference 20 October Kyiv, Ukraine*, P. 56–58. URL: [https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/21269/1/KyivTex%26Fashion2022\\_P056-058.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/21269/1/KyivTex%26Fashion2022_P056-058.pdf)

10. Klochko, O. I. (2006). *Doslidzhennia u trykotazhnii haluzi [Research in the knitted industry]*. Kyiv: KNUTD. 190 p. [in Ukrainian].

9. Dmytryk O., Bobrova S., Halavska L. The influence of knitting parameters on the structure parameters and loop shape of knitted material from high-strength yarn. *VI International Scientific-Practical Conference 20 October 2022. Kyiv, Ukraine*. P. 56–58. URL: [https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/21269/1/KyivTex%26Fashion2022\\_P056-058.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/21269/1/KyivTex%26Fashion2022_P056-058.pdf).

10. Ключко О. І. Дослідження у трикотажній галузі: навчальний посібник К.: КНУТД, 2006. 190 с.

**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](mailto: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](mailto:galavska.ly@knutd.edu.ua)

**DMYTRYK O. M, HALAVSKA L. Ye.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF PRODUCING KNITWEAR FROM HIGH-STRENGTH THREADS ON THE LOOPS FORM AND STRUCTURAL PARAMETERS**

**Purpose.** By implementing an active experiment and establishing one-factor regression models, determine the influence of the type of raw material of increased strength, knitting density on the parameters of the structure and the formation of loops of knitted material produced on a gloves knitting machine from high-molecular weight polyethylene and para-aramid threads.

**Methodology.** The work uses the basics of textile material science and the theory of knitting, methods of analysis and generalization of the obtained results. To determine the parameters of the structure of the knitted materials obtained, experimental methods of research using standard methods were used. Processing of the results of the experiment and construction of graphs was performed with the help of the Microsoft Excel program based on the average values of the indicators. In the research process, the method of linear regression analysis was used by the traditional planning of an active experiment.

**Results.** To ensure the normal course of the knitting process when producing knitted material on the PA-8-33 8 gauge gloves knitting machine from 44texx3high-molecular weight polyethylene and para-aramid threads, the minimum and maximum levels of sinking depth were set, namely for polyethylene thread  $h_{min}=3.55$ ,  $h_{max}=3.95$  mm; for para-aramid thread  $h_{min}=3.4$ ,  $h_{max}=3.8$ mm. Through the implementation of an active experiment on the gloves knitting machine, experimental samples of knitted material of a tubular shape were produced by plain interlooping from the high-strength threads at 5 levels of the sinking depth in a specified range with 0.1 mm step of, under the condition of constant tension of thread during the knitting

process. During the research, the structural parameters and characteristics of the loops` shape of the obtained knitted materials were determined.

**Scientific novelty.** On the flat knitting equipment equipped with sinkers, the nature of the influence of the change in the knitting density of the knitted material of the plain interlooping from high-molecular -weight polyethylene and para-aramid threads on the structural parameters and the loops formation was established.

**Practical significance.** The obtained regression dependences allow, at the stage of designing the knitted material of plain interlooping, produced on a gloves knitting machine from high-molecular -weight polyethylene and para-aramid threads, to determine the structural characteristics and the loops shape as well to use these data to create the 3D models in computer simulation modeling and forecasting properties.

**Keywords:** para-aramid thread; ultra-high molecular weight polyethylene thread; durable knitted material; protective textiles; loops form; plain interloping.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.7>

УДК 339.138.  
021:615.27:  
[615.454.1:  
615.361]

РОЇК О. М., КЛЮЙ О. С., ГОРБИК А. Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ПРОТИГРИБКОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ МІСЦЕВОГО ЗАСТОСУВАННЯ НА ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ РИНКУ УКРАЇНИ

**Мета.** Виконати аналіз асортименту вітчизняного фармацевтичного ринку протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування з урахуванням усіх форм випуску.

**Методика.** Для проведення аналізу сегмента протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування використано дані Державного реєстру лікарських засобів України, класифікаційної системи АТС електронного ресурсу Compendium.online та інформаційно пошукової програми «Моріон». У роботі використовувались методи статистичного, структурного та графічного аналізу протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування з метою подальшого узагальнення та систематизації отриманих результатів.

**Результати.** Проведений детальний аналіз офіційних джерел інформації про стан зареєстрованих та дозволених до медичного застосування в Україні протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування та сформовано інформаційний набір даних із 102 найменувань лікарських препаратів. Встановлено, що розглянуті лікарські препарати представлені в одній анатомічній групі D01A Протигрибкові препарати для місцевого застосування. Під час проведення маркетингового аналізу встановлено, що найбільшу кількість лікарських засобів протигрибкової дії для місцевого застосування становлять препарати, які містять в якості активних фармацевтичних інгредієнтів: нафтифін – 22% тербінафін – 18%, кетоконазол – 13%, клотримазол 11%. Визначено, що 50% досліджуваного сегмента ринку займають вітчизняні виробники, які володіють власними виробничими потужностями та мають великий досвід у розробці та виробництві протигрибкових лікарських засобів. Здійснено дослідження номенклатури протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування та встановлено, що найбільш поширеними лікарськими формами серед усього розглянутого асортименту є м'які лікарські форми (креми 36%, мазі 6%, гелі 7%), рідкі лікарські форми (розчини для зовнішнього застосування 26%, шампуні 6%, суспензії 1%) та спреї на шкірні 10%.

**Наукова новизна** проведений маркетинговий аналіз асортименту протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування за період січень–вересень 2023 р.

**Практична значимість** полягає у проведенні детального, структурованого маркетингового аналізу протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування з метою подальшої розробки нових лікарських засобів для лікування грибкових уражень шкіри та придатків, так як 20–25% населення світу страждає на мікози шкіри, тулуба, стоп, що робить мікози однією з найчастіших форм шкірних інфекцій.

**Ключові слова:** протигрибкові засоби; мікози; клотримазол; тербінафін; шкіра; оніхомікоз; антимікотик; акне.

**Вступ.** Мікробіом шкіри займає друге місце після мікробіому кишківника за кількістю популяцій мікроорганізмів та інших бактерій, при цьому доведено, що щільність бактеріальної популяції шкіри складає 1 млн бактерій на 1 см<sup>2</sup> шкірного покриву. Численні дослідження в даний час зосереджені на маніпуляціях зі шкірою або мікробіомом кишківнику, щоб вивчити їх терапевтичний потенціал у профілактиці та лікуванні запалення шкіри [1]. Мікробіом шкіри людини включає мікроорганізми разом із їх генетичними елементами та взаємодією з навколишнім середовищем. До основних типів бактерій, які найчастіше зустрічаються на шкірі, належать: Actinobacteria (36–51%), Firmicutes (24–34%), Proteobacteria (11–16%) і Bacteroidetes (6–9%) [2]. Для кожного виду мікроорганізмів існують найбільш сприятливі природні середовища проживання на різних ділянках шкіри. Наприклад, у вологих зонах, таких як пупкова зона, пахвові або шийні впадини, переважають бактерії сімейства Staphylococcus і Corynebacteria. У себореїчних зонах знаходиться велика кількість ліпофільних

видів, таких як *Propionibacteria*, які адаптовані до багатого ліпідами анаеробного середовища [3]. На сухих ділянках шкіри (передпліччя, кисти, гомілки та частини стоп) найбільш поширена колонізація різних видів грибів, а саме: *Malassezia* spp., *Cryptococcus* spp., *Rhodotorula* spp., *Aspergillus* spp. і *Epidermophyton* spp. Гриби виду *Malassezia* spp. є найпоширенішими та становлять близько 80% усієї грибкової флори [3, 4]. Мікробіом шкіри відіграє важливу роль у підтримці гомеостазу шкіри, захисту від вторгнення патогенів і модуляції імунної системи [5]. Порушення рівноваги мікрофлори шкіри може призвести до виникнення або прогресування різних шкірних захворювань. Деякі хвороби шкіри, такі як atopічний і себорейний дерматит, акне, гніздова алопеція, псоріаз можуть бути наслідками якісної зміни нормального видового складу бактерій шкіри [6]. Тому розуміння бактеріальної складової мікробіому шкіри людини призвело до належного та професійного лікування грибкових захворювань з використанням сучасних протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування.

**Постановка завдання.** Грибкові інфекції шкіри та нігтів – поширена глобальна проблема. Висока поширеність поверхневих грибкових інфекцій вказує на те, що приблизно 20–25% населення світу страждає на мікози шкіри, мікози тулуба, мікози стоп, мікози нігтів (оніхомікоз), що робить мікози однією з найчастіших форм шкірних інфекцій. Основними причинами захворювання є: стан імунної системи, недотримання особистої гігієни, невдале лікування (особливо зловживання антибактеріальними препаратами), фонові або супутні захворювання шкіри, тощо.

Використання протигрибкових засобів для місцевої терапії рекомендується для полегшення симптомів (свербіжу), зниження ризику вторинної бактеріальної інфекції та обмеження поширення інфекції на інші ділянки тіла або на інших людей. Місцева протигрибкова терапія є методом вибору більшості пацієнтів, тому дослідження асортименту протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування та аналіз сегменту цих препаратів на фармацевтичному ринку України станом на 2023 р. є актуальними та своєчасними.

**Матеріали і методи.** Для маркетингового аналізу протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування було використано дані Державного реєстру лікарських засобів України, інформаційно пошукової програми «Моріон» та класифікаційної анатомо-терапевтичної системи (АТС) лікарських засобів електронного ресурсу Compendium.online. У роботі застосовано методи структурного, статистичного та графічного аналізу, а також проведено їх узагальнення та систематизацію.

#### **Результати й обговорення.**

Під час першого етапу аналізу офіційної інформації щодо кількості зареєстрованих та дозволених до медичного застосування в Україні протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування був сформований інформаційний набір даних із 102 найменувань лікарських препаратів без урахування форми випуску та дозування. АТС-класифікація поділяє усі лікарські препарати на основні групи п'яти рівнів за назвою анатомічного органу чи системи, що є мішенню дії препарату, за основними терапевтичними та (або) фармакологічними властивостями лікарського засобу; за конкретними індивідуальними терапевтичними або фармакологічними властивостями лікарського засобу; за основними структурними та хімічними властивостями та за індивідуальними особливостями хімічної структури [7].

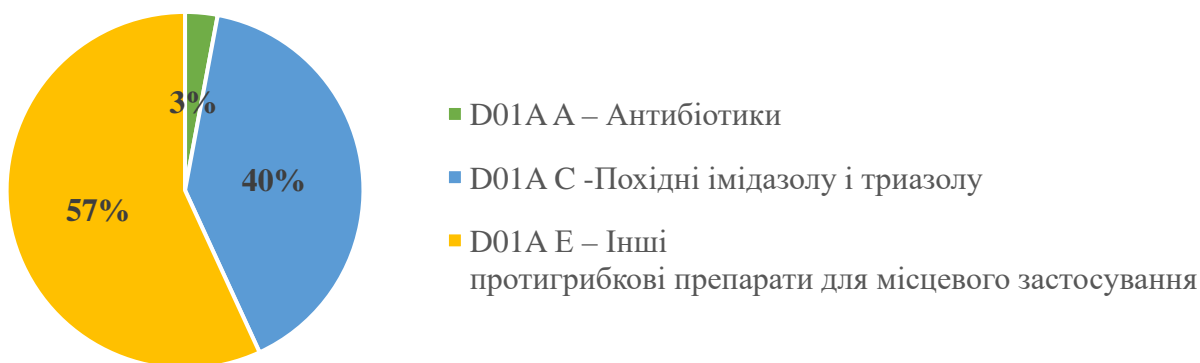
Як видно з табл. 1 та згідно бази довідника лікарських засобів Компендіум [7] відповідно до вимог міжнародної АТХ-класифікації (Anatomical Therapeutic Chemical (ATC) classification system) протигрибкові лікарські засоби для місцевого застосування представлені групою D01A – «Протигрибкові препарати для місцевого застосування в дерматології», до якої відносяться декілька підгруп, які зареєстровані та знаходяться в вільному обігу на вітчизняному фармацевтичному ринку, а саме: D01A C – «Похідні імідазолу і триазолу»; D01A

А – «Антибіотики»; D01A E – «Інші протигрибкові засоби для місцевого застосування». Проведений аналіз свідчить про те, що більше половини із зареєстрованих в Україні станом на 9 вересня 2023 р. протигрибкових препаратів для місцевого застосування належить до групи D01A E (рис. 1).

Таблиця 1

**Розподіл асортименту зареєстрованих протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування за АТС-класифікацією**

АТС-код групи	Діюча речовина (ЛЗ)	Кількість ЛЗ	Частка ЛЗ, за категорією, %
<b>ПРОТИГРИБКОВІ ПРЕПАРАТИ ДЛЯ МІСЦЕВОГО ЗАСТОСУВАННЯ D01A</b>			
D01A A Антибіотики	ністатин натаміцин	3	3
D01A E Інші протигрибкові засоби для місцевого застосування	кислота саліцилова циклопірокс тербінафін аморолфін нафтифін теобон – дитіомікоцид	58	57
D01A C Похідні імідазолу та триазолу	клотримазол міконазол еконазол тікконазол кетокконазол біфоназол фентіконазол сертаконазол беклометазон+ клотримазол	41	40



**Рис. 1. Співвідношення зареєстрованих протигрибкових лікарських засобів за групами класифікації АТХ**

За складом активних фармацевтичних інгредієнтів зареєстровані лікарські препарати розподілені нерівномірно. Серед діючих речовин, представлених найбільшою кількістю торгових найменувань, лідируючі позиції займали нафтифін (22), тербінафін (18), клотримазол (11), кетокконазол (13), нафтифін та саліцилова кислота (10). Розподіл за складом діючих речовин (підгрупа D01A C) протигрибкових препаратів для місцевого застосування, які зареєстровані в Україні, представлений на рис. 2.

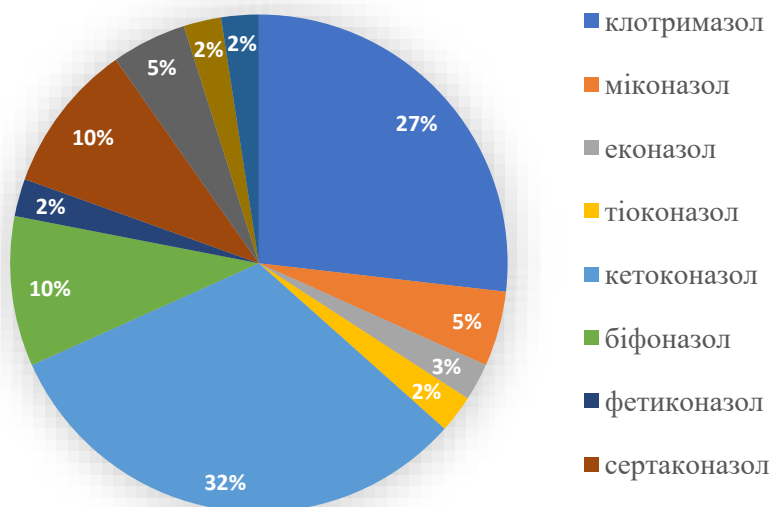


Рис. 2. Розподіл за складом діючих речовин (підгрупа D01A C) протигрибкових препаратів для місцевого застосування

Серед діючих речовин підгрупи D01A C, представлених найбільшою кількістю торгових найменувань, лідируючі позиції займали кетоконазол (32%) та клотримазол (27%).

Розподіл зареєстрованих протигрибкових препаратів для місцевого застосування за складом діючих речовин (підгрупа D01A E), представлений на рис. 3.

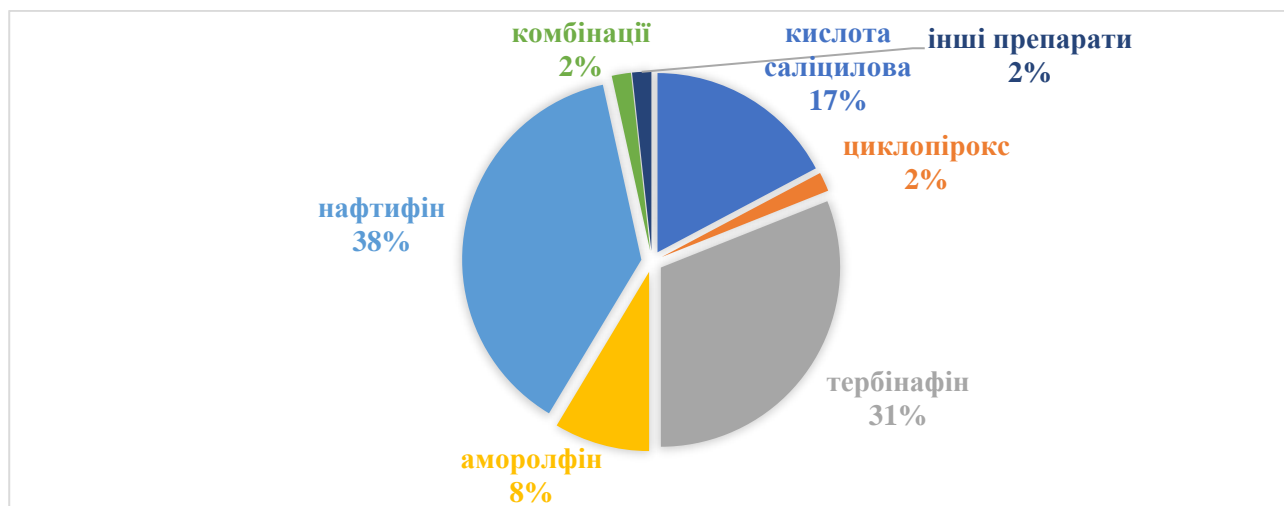


Рис. 3. Розподіл зареєстрованих протигрибкових препаратів для місцевого застосування за складом діючих речовин (підгрупа D01A E)

Серед діючих речовин підгрупи D01A E торгових найменувань лідируючі позиції займали нафтифін (39%), тербінафін (31%), саліцилова кислота (17%).

Розподіл зареєстрованих протигрибкових препаратів для місцевого застосування за складом діючих речовин (підгрупа D01A A Антибіотики) представлений на рис. 4.

До підгрупи D01A Антибіотики належать 2 торгових найменування, а саме ністатин (67%) та натаміцин (33%). Необхідно відзначити, що більшість зареєстрованих лікарських засобів є монопрепаратами. На частку комбінованих лікарських засобів припадає лише 5% торгових найменувань, які представлені протигрибковими препаратами у поєднанні з

антибіотиками (клотримазол + гентаміцин), кортикостероїдами (ізоконазол + дифлукортолону валеріат; клотримазол + беклометазон), іншими речовинами (кетоконазол + цинку пропіонат; тербінафін + сечовина; клотримазол + саліцилова кислота).



Рис. 4. Розподіл зареєстрованих протигрибкових препаратів для місцевого застосування за складом діючих речовин (підгрупа D01A A Антибіотики)

Наступним етапом роботи було проведення аналізу протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування за лікарськими формами та країнами-виробниками. На рис. 5 представлений розподіл асортименту протигрибкових препаратів підгруп D01A E, D01A A, D01A C.

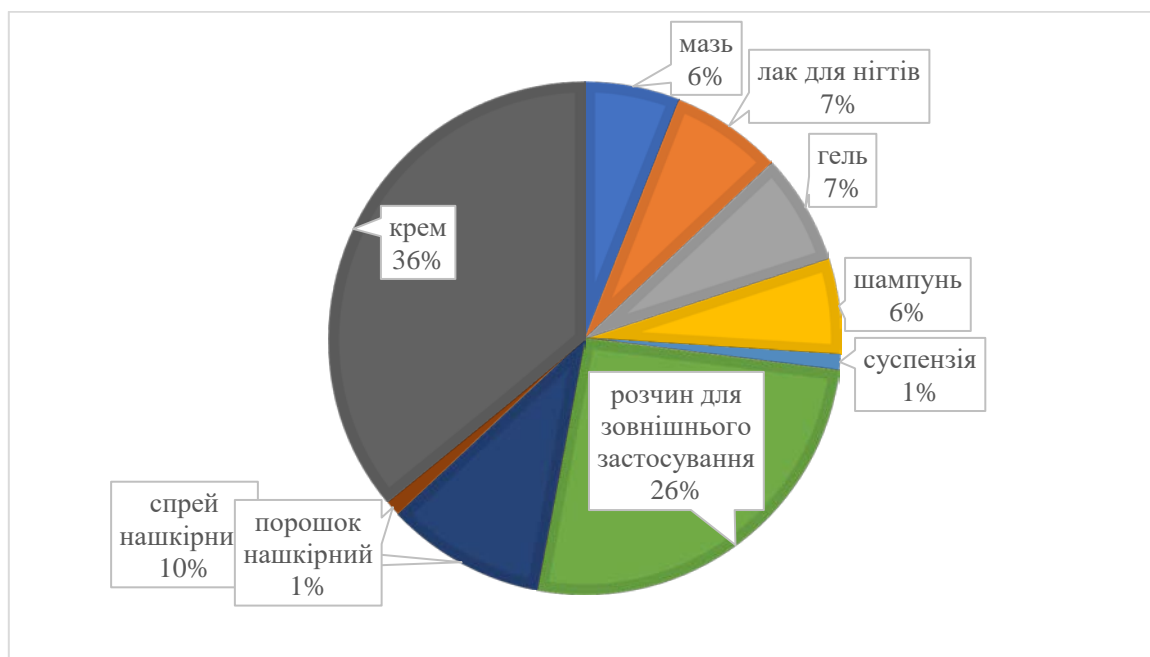


Рис. 5. Розподіл асортименту протигрибкових препаратів підгруп D01A E, D01A A, D01A C

Встановлено, що найбільш часто використовують для місцевого лікування грибкових захворювань лікарські препарати у формі крему (36%), мазі (6%), розчину для зовнішнього застосування (26%), спрею на шкірний (10%), у формі шампуню (6%), у формі лаку для нігтів (7%), гелю (7%) та по одній лікарській формі порошок на шкірний (1%) та суспензія для зовнішнього використання (1%).

Отже, під час проведення аналізу даних Державного експертного центру МОЗ України [8] асортимент зареєстрованих протигрибкових лікарських засобів для місцевого використання станом на вересень 2023 р. становить 102 торговельних найменування, з них 50% лікарських засобів вітчизняного виробництва, а інші – 50% препарати зарубіжного виробництва (17 виробників). Розподіл асортименту протигрибкових засобів препаратів підгруп D01A E, D01A A, D01A C за країнами-виробниками наведено на рис. 6.

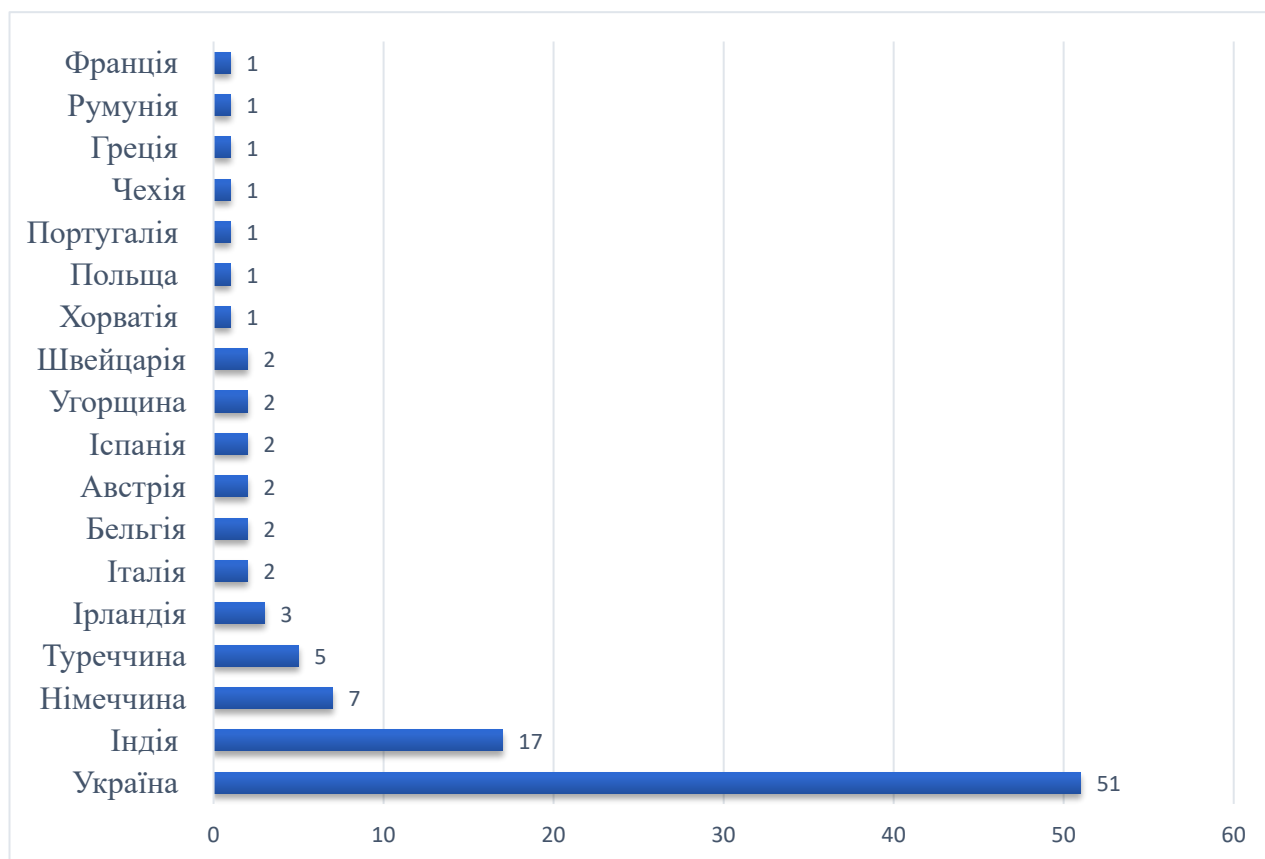


Рис. 6. Розподіл асортименту протигрибкових препаратів підгруп D01A E, D01A A, D01A C

Як видно з наведених даних, асортимент зареєстрованих протигрибкових препаратів за країнами-виробниками на ринку України представлений 18 країнами, з яких лідируючу позицію займають вітчизняні виробники – 51 (50%) торговельних найменувань. Наступними за кількістю зареєстрованих препаратів є: Індія – 17 ЛЗ (17%), Німеччина – 7 ЛЗ (7%), Туреччина – 5 ЛЗ (5%), Ірландія – 3 ЛЗ (3%), по два ЛЗ займають Італія, Бельгія, Австрія, Іспанія, Угорщина, Швейцарія, по одному ЛЗ мають Польща, Португалія, Чехія, Греція, Румунія, Франція. Велика кількість вітчизняних виробників серед даної групи лікарських препаратів зумовлена дешевою та доступною сировинною базою, нескладною традиційною технологією виробництва та економічно вигідною споживчою доцільністю.

До вітчизняних виробників, продукція яких представлена у цій групі, належать: ТОВ «Фармацевтична компанія «Здоров'я», АТ «Лубнифарм», ПАТ "Науково-виробничий центр "БХФЗ", ПАТ "Київмедпрепарат", ПрАТ "Фармацевтична фірма "Дарниця", ПрАТ "ФІТОФАРМ", Спільне українсько-іспанське підприємство "Сперко, ДП "Експериментальний завод медичних препаратів Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України", АТ "Фармак", ТОВ "УКРСПЕЦФАРМ", ПрАТ Фармацевтична фабрика "Віола", ПрАТ "Технолог", ПАТ "Хімфармзавод "Червона зірка", ТОВ "ДКП "Фармацевтична фабрика", ПАТ

"Хімфармзавод "Червона зірка" та інші. Серед представлених компаній провідні позиції займають вітчизняні виробники, які володіють власними виробничими потужностями та мають великий досвід у розробці та виробництві м'яких та рідких лікарських форм (креми, пасти, мазі, рідини та розчини).

Протигрибкові препарати для місцевого застосування представлені на вітчизняному ринку у різних лікарських формах, найбільш поширеними з яких є креми та розчини для зовнішнього використання. Майже половина зареєстрованих лікарських препаратів групи D01A (49%) представлені у м'яких лікарських формах (креми 36%, мазі 6%, гелі 7%), 40% – рідкі лікарські форми (розчини 26%, суспензії 1%, шампунь 6%, лак 7%), 10% – спреї, та 1% – тверда лікарська форма ((порошок для нашкоїрного використання) (рис. 7).

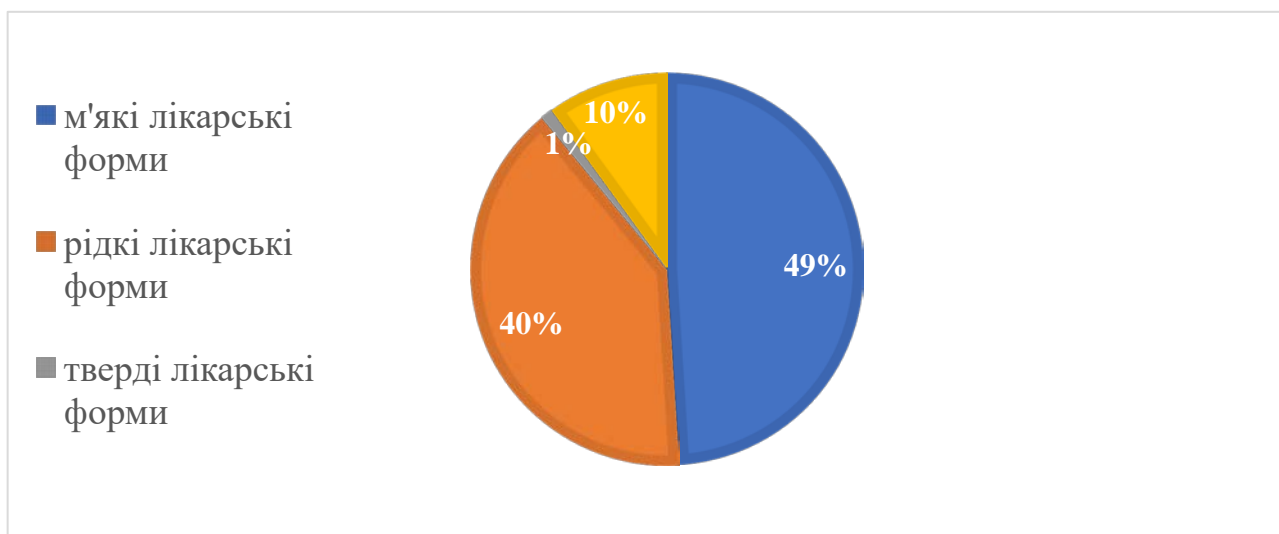


Рис. 7. Розподіл асортименту протигрибкових препаратів підгруп D01A E, D01A A, D01A C за формою випуску

Отже, найбільша асортиментна група препаратів, представлених на фармацевтичному ринку України, є м'які лікарські форми, загальна їх кількість становить 49%, що не суперечить функціональному призначенню протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування, адже, відповідно до вимог фармакопейної статті ДФУ «М'ЯКІ ПРЕПАРАТИ ДЛЯ НАШКОїРНОГО ЗАСТОСУВАННЯ» – м'які препарати для нашкоїрного застосування призначені для одержання місцевої дії або трансдермальної доставки діючих речовин [9–11]. Стосовно протигрибкових лікарських засобів у рідких лікарських формах (зокрема розчини 26%, лаки для нігтів 7%), то їх широке застосування зумовлене лікуванням грибової інвазії нігтьового ложа, а саме місця найменшого опору нігтя: щілини, борозенки, на стиках нігтьової пластини і ложа. Розчини, які належать до протигрибкових засобів, спеціально розроблені для лікування грибка нігтя, завдяки здатності АФІ (антимікотика) краще проникати з розчину через нігтьову пластину у ложе нігтя. Протигрибкові компоненти у формі крему або мазі не проникають через нігтьову пластину, тому є не актуальними для лікування грибка нігтя.

#### Висновки.

1. Виконаний аналіз зареєстрованих лікарських засобів за системою АТС встановив, що досліджувані лікарські препарати представлені у одній анатомічній групі D01A – «Протигрибкові препарати для місцевого застосування в дерматології», до якої належать декілька підгруп, серед яких на вітчизняному фармацевтичному ринку присутні: D01A A – «Антибіотики» (3%); D01A C – «Похідні імідазолу і триазолу» (40%); D01A E – «Інші протигрибкові засоби для місцевого застосування» (57%). Серед них провідні позиції займає

анатомічна підгрупа D01A E – «Інші протигрибкові засоби для місцевого застосування», що в значній мірі перевищує за кількісними характеристиками всі інші підгрупи.

2. Встановлено, що за складом активних фармацевтичних інгредієнтів зареєстровані лікарські препарати розподілені нерівномірно. Серед діючих речовин, представлених найбільшою кількістю торгових найменувань, лідируючі позиції займали нафтифін (22), тербінафін (18), клотримазол (11), кетоконазол (13), нафтифін та саліцилова кислота (10). Серед діючих речовин підгрупи D01A C, представлених найбільшою кількістю торгових найменувань, лідируючі позиції займали кетоконазол (32%) та клотримазол (27%). Серед діючих речовин підгрупи D01A E, лідируючі позиції займали нафтифін (39 %), тербінафін (31%), саліцилова кислота (17%). Серед діючих речовин Підгрупа D01A A Антибіотики представлена двома діючими речовинами, а саме препарати ністатину 67%, та препарати натаміцину 33%.

3. Встановлено, що 50% досліджуваного сегмента ринку припадає на вітчизняне виробництво, а саме: ТОВ «Фармацевтична компанія «Здоров'я», АТ «Лубнифарм», ПАТ "Науково-виробничий центр "БХФЗ", ПАТ "Київмедпрепарат", ПрАТ "Фармацевтична фірма "Дарниця", ПРАТ "ФІТОФАРМ". Серед країн-імпортерів, що забезпечують інші 50% асортименту лікарських препаратів, лідером є Індія (17%), зокрема компанії «Гленмарк Фармасьютикалз Лтд» та «КУСУМ ХЕЛТХКЕР ПВТ ЛТД».

4. Здійснено дослідження номенклатури протигрибкових лікарських засобів для місцевого застосування та встановлено, що найбільш поширеними лікарськими формами є м'які лікарські форми (креми 36%, мазі 6%, гелі 7%) – 49%, та рідкі лікарські форми (розчини 26%, суспензії 1%, шампунь 6%, лак 7%) – 40%.

5. Враховуючи стрімке поширення поверхневих грибкових інфекцій шкіри та придатків, зростає потреба в розробці вітчизняних інноваційних лікарських засобів, оскільки багато із запропонованих фунгіцидних та фунгістатичних препаратів представлені імпортними виробниками. Зокрема, лікарські препарати для лікування мікозів нігтів (оніхомікозів), представлені на вітчизняному фармацевтичному ринку у формі розчинів та лаків для нігтів, є доволі дорогавартісними та недоступними для середньостатистичного споживача.

## References

## Література

- |  |   |
|--|---|
| <p>1. Lunjani, N., Hlela, C., O'Mahony, L. (2019). Microbiome and skin biology. <i>Curr Opin Allergy Clin Immunol</i>, 19(4):328–333. DOI:10.1097/ACI.0000000000000542.</p> <p>2. Carmona-Cruz, S., Orozco-Covarrubias, L., Sáez-de-Ocariz, M. (2022). The Human Skin Microbiome in Selected Cutaneous Diseases. <i>Front Cell Infect Microbiol</i>, 12:834135. DOI:10.3389/fcimb.2022.834135.</p> <p>3. Rozas, M., Hart de Ruijter, A., Fabrega, M. J. et al. (2021). From Dysbiosis to Healthy Skin: Major Contributions of Cutibacterium acnes to Skin Homeostasis. <i>Microorganisms</i>, 9(3):628. DOI:10.3390/microorganisms9030628.</p> <p>4. McLoughlin, I. J., Wright, E. M., Tagg, J. R. et al. (2022). Skin Microbiome – The Next Frontier for Probiotic Intervention. <i>Probiotics &amp; Antimicro. Prot.</i>, 14:630–647. <a href="https://doi.org/10.1007/s12602-021-09824-1">https://doi.org/10.1007/s12602-021-09824-1</a>.</p> | <p>1. Lunjani N., Hlela C., O'Mahony L. Microbiome and skin biology. <i>Curr Opin Allergy Clin Immunol</i>. 2019. 19(4). P. 328–333. DOI:10.1097/ACI.0000000000000542.</p> <p>2. Carmona-Cruz S., Orozco-Covarrubias L., Sáez-de-Ocariz M. The Human Skin Microbiome in Selected Cutaneous Diseases. <i>Front Cell Infect Microbiol</i>. 2022. 12. 834135. DOI:10.3389/fcimb.2022.834135.</p> <p>3. Rozas M., Hart de Ruijter A., Fabrega M. J. et al. From Dysbiosis to Healthy Skin: Major Contributions of Cutibacterium acnes to Skin Homeostasis. <i>Microorganisms</i>. 2021. No. 9(3). 628. DOI:10.3390/microorganisms9030628.</p> <p>4. McLoughlin I. J., Wright E. M., Tagg J. R. et al. Skin Microbiome – The Next Frontier for Probiotic Intervention. <i>Probiotics &amp; Antimicro. Prot.</i> 2022. 14. P. 630–647. <a href="https://doi.org/10.1007/s12602-021-09824-1">https://doi.org/10.1007/s12602-021-09824-1</a>.</p> |
|--|---|

5. Boxberger, M., Cenizo, V., Cassir, N., La Scola, B. (2021). Challenges in exploring and manipulating the human skin microbiome. *Microbiome*, 9(1):125. DOI:10.1186/s40168-021-01062-5.
6. Guéniche, A., Cathelineau, A. C., Bastien, P. et al. (2008). *Vitreoscilla filiformis* biomass improves seborrheic dermatitis. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 22(8):1014–1015. DOI:10.1111/j.1468-3083.2007.02508.x.
7. Compendium online. URL: <http://compendium.com.ua>.
8. Derzhavnyi reiestr likarskykh zasobiv [State register of medicines]. URL: <http://www.drlz.com.ua>
9. Blazhko, I. V. (2021). Doslidzhennia rynku m'iakyykh likarskykh form promyslovoho ta ekstemporalnoho vyhotovlennia) [Research of the market of soft dosage forms of industrial and extemporaneous production]. Ternopil. 72 p. URL: <https://repository.tdmu.edu.ua/handle/123456789/17080>.
10. State enterprise "Ukrainian Scientific Pharmacopoeia Center for the Quality of Medicinal Products" (2020). *Derzhavna Farmakopeia Ukrainy [State Pharmacopoeia of Ukraine]*. 2nd ed. Addendum 4. Kharkiv. 600 p.
11. Ministry of Health of Ukraine (2015). *Vymohy do vyhotovlennia nesterylnykh likarskykh zasobiv v umovakh aptek: Nاستanova ST-N MOZU 42-4.5:2015. Vydannia ofitsiine [Requirements for the manufacture of non-sterile medicinal products in pharmacies: Guideline ST-N MOZU 42-4.5:2015. Official edition]*. Kyiv.
5. Boxberger M., Cenizo V., Cassir N., La Scola B. Challenges in exploring and manipulating the human skin microbiome. *Microbiome*. 2021. 9(1):125. DOI:10.1186/s40168-021-01062-5.
6. Guéniche A., Cathelineau A. C., Bastien P. et al. *Vitreoscilla filiformis* biomass improves seborrheic dermatitis. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2008. 22(8). P. 1014–1015. DOI:10.1111/j.1468-3083.2007.02508.x.
7. Компендіум online. URL: <http://compendium.com.ua>.
8. Державний реєстр лікарських засобів. URL: <http://www.drlz.com.ua>
9. Блажко І. В. Дослідження ринку м'яких лікарських форм промислового та екстемпорального виготовлення. Тернопіль, 2021. 72 с. URL: <https://repository.tdmu.edu.ua/handle/123456789/17080>.
10. Державна Фармакопея України. 2-е вид. Доповнення 4. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2020. 600 с.
11. Вимоги до виготовлення нестерильних лікарських засобів в умовах аптек: Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.5:2015. Видання офіційне Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 2015.

**ROIK OLENA**

PhD, Department of Industrial Pharmacy,  
Faculty of Chemical and Biopharmaceutical Technologies,  
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](mailto:alena_08@ukr.net)

**KLIUI OLHA**

Student, Department of Industrial Pharmacy,  
Faculty of Chemical and Biopharmaceutical  
Technologies, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine

**GORBYK ANGELINA**

Student, Department of Industrial Pharmacy,  
Faculty of Chemical and Biopharmaceutical  
Technologies, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine

**ROIK O. M., KLIUI O. S., GORBYK A. Ya.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**STUDY OF THE RANGE OF ANTIFUNGAL DRUGS FOR TOPICAL USE  
IN THE PHARMACEUTICAL MARKET OF UKRAINE**

*The purpose. To analyse the assortment of the domestic pharmaceutical market of antifungal medicines for topical use, taking into account all forms of release*

**Methodology.** To analyse the segment of antifungal medicinal products for topical use, the data from the State Register of Medicinal Products of Ukraine, the ATC classification system of the electronic resource Compendium.online and the information search program Morion were used. The study used methods of statistical, structural and graphical analysis of antifungal medicinal products for topical use in order to further generalise and systematise the results obtained.

**Results.** A detailed analysis of official sources of information on the status of antifungal drugs for topical use registered and authorised for medical use in Ukraine was carried out and an information dataset of 102 drug names was formed. It was found that the medicinal products under consideration are represented in one anatomical group D01A Antifungal drugs for topical use. The marketing analysis revealed that the largest number of antifungal medicinal products for topical use are those containing the following active pharmaceutical ingredients: naftifine – 22%, terbinafine – 18%, ketoconazole – 13%, clotrimazole – 11%. It is determined that 50% of the market segment under study is occupied by domestic manufacturers with their own production facilities and extensive experience in the development and production of antifungal medicines. A study of the nomenclature of antifungal medicinal products for topical use was carried out and it was found that the most common dosage forms among the entire range under consideration are soft dosage forms (creams 36%, ointments 6%, gels 7%), liquid dosage forms (solutions for external use 26%, shampoos 6%, suspension 1%) and skin sprays 10%.

**Scientific novelty** conducted a marketing analysis of the range of antifungal medicines for topical use for the period January–September 2023.

**Practical significance** is to conduct a detailed, structured marketing analysis of antifungal medicines for topical use with the aim of further developing new medicines for the treatment of fungal lesions of the skin and appendages, as 20–25% of the world's population suffers from mycoses of the skin, trunk, and feet, making mycoses one of the most common forms of skin infections.

**Keywords:** antifungals; mycoses; clotrimazole; terbinafine; skin; onychomycosis; antimycotic; acne.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.8>

УДК 677.072.6

ЩЕНКО О. В., ПЛАВАН В. П.,  
ШИДЛОВСЬКА О. А., ХАРЧЕНКО Є.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИБАКТЕРІАЛЬНОГО ЕФЕКТУ НАНОНАПОВНЕНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета.** Метою наукової роботи є дослідження антибактеріального ефекту нанонаповнених полімерних матеріалів на основі суміші поліпропілен/співполіамід з додаванням вуглецевих нанотрубок.

**Методика.** Для оцінки антибактеріального ефекту нанонаповнених полімерних матеріалів використали референтні штами бактерій *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 та *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. Визначали антибактеріальну дію полімерних зразків методом окислювально-відновлювальної індикації із застосуванням резазуринату натрію. Для дослідження можливості бактеріальних клітин прикріплюватися до полімерних матеріалів, також аналізували зразки, відібрані після 24-годинного культивування, за допомогою тесту з резазуринатом натрію. Статистичну достовірність перевіряли за допомогою *t*-критерію Вілкоксона.

**Результати.** Досліджено антибактеріальний ефект нанонаповнених полімерних матеріалів на основі суміші поліпропілен/співполіамід з додаванням вуглецевих нанотрубок. Встановлено, що вихідний поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками достовірно пригнічує ріст *E. coli*. Дослідження антиадгезивних властивостей полімерів показало ефективні та достовірні відштовхувальні властивості проти прикріплення клітин *E. coli*, *P. aeruginosa* та *S. aureus* для поліпропілену/співполіаміду з вуглецевими нанотрубками.

**Наукова новизна роботи** полягає у встановленні антибактеріальних та антиадгезивних властивостей нанонаповнених полімерних матеріалів на основі суміші поліпропілен/співполіамід з додаванням вуглецевих нанотрубок.

**Практичне значення.** Встановлено антибактеріальний ефект вихідного поліпропілену/співполіаміду з додаванням вуглецевих нанотрубок (1 мас. %), а також високу антиадгезивну дію поліпропілену/співполіаміду з додаванням вуглецевих нанотрубок проти ряду бактеріальних штампів, що є важливим для матеріалів біомедичного застосування.

**Ключові слова:** поліпропіленові волокна; вуглецеві нанотрубки; нанокompозити; антибактеріальні властивості.

**Вступ.** Розробка принципів одержання нанонаповнених волокон та нанокompозитів є перспективним напрямком науки. Ці матеріали з регульованими характеристиками отримують шляхом комбінацій полімеру з нанонаповнювачами різної конфігурації; розмірів та хімічної природи. Як нанодобавки застосовують вуглецеві нанотрубки, фулерени, глини, аеросили тощо. На властивості нанонаповнених волокон впливає багато факторів: об'ємна доля наповнювача, тип матриці і добавки, однорідність їх розподілу, ступінь диспергування та орієнтації частинок, властивості та величина міжфазного шару. Перспективними наповнювачами вважають вуглецеві нанотрубки (ВНТ) завдяки їх властивостям – механічним, теплофізичним, електричним та бактерицидним [1]. Матеріали з додавання нанонаповнювачів ВНТ широко використовують як фільтри [2], вогнестійкі матеріали [3], електромагнітні екрануючі матеріали [4], датчики [5], суперконденсатори [6], в медицині [7, 8] та інше.

ВНТ представляють собою перспективний клас наноматеріалів для біомедичного застосування. Дослідники продемонстрували, що ВНТ можна використовувати для транспортування ліків [9] і біомолекул [10], візуалізації пухлин і фототермічної терапії [11].

ВНТ широко використовують для одержання матеріалів з антимікробними властивостями. Антимікробна активність нанотрубок залежить від складу та властивостей поверхні, довжини, розміру, кількості графенових шарів дисперсії та агрегації [12].

Відомо [1–3], що ВНТ мають велику питому поверхню, що призводить до високої схильності до агрегації. Для подолання низької спорідненості ВНТ до полімеру в суміш вводять поверхнево-активні речовини, які фізично та хімічно впливають на поверхню, що викликає гомогенний розподіл нанотрубок в матриці [14].

Фундаментальні дослідження в галузі фізико-хімічних розплавів сумішей полімерів, виконані в лабораторії хімічних волокон Київського національного університету технологій та дизайну, сприяли розробці наукових основ одержання ультратонких синтетичних волокон [15–17]. ПП-волокна наповнені вуглецевими нанотрубками можуть використовуватися як хірургічні шовні матеріали для попередження ранової інфекції і післяопераційних ускладнень. Вони мають достатні міцність і еластичність, забезпечують надійну фіксацію вузла. Створені нитки проявляють мінімальну травматичну дію при проходженні через тканини [16].

В останні роки фармацевтична промисловість використовує наночастинки для зниження токсичності та побічних ефектів ліків. Незважаючи на те, що ВНТ мають азбестоподібні токсичні властивості, які залежать від їх наноструктури та біостійкості, дослідження продовжуються, враховуючи їх вражаючий потенціал у біомедичному застосуванні [13]. Застосування ВНТ в медицині на даний момент перебуває на рубежі між визнаною концепцією та статусом доклінічного кандидата для різноманітних терапевтичних та діагностичних використань. Прогрес у клінічних випробуваннях буде залежати від результатів досліджень ефективності та токсикології, які забезпечать необхідну оцінку співвідношення між ризиком та користю для матеріалів, що містять вуглецеві нанотрубки.

Тому актуальним завданням є розробка технології та дослідження властивостей нанопоповнених поліпропіленових волокон з додаванням нанотрубок для біомедичного застосування.

**Постановка завдання.** Мета роботи – дослідження антибактеріального ефекту нанопоповнених полімерних матеріалів на основі суміші поліпропілен/співполіамід з додаванням вуглецевих нанотрубок.

**Методологія досліджень.** В роботі аналізували зразки волокон поліпропілен/співполіамід (ПП/СПА) та поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками (ПП/СПА/ВНТ). Волокна одержані з поліпропілену (ПП марки А-7 ТУУ 24.1–32292929 – 003:2007) з показником текучості розплаву ( $7 \div 10$ ) г/10 хв. (поліпропілен дозволений до використання в медичній промисловості) з додаванням співполіаміду (СПА) марки 21060 (ТУ 6-05-1756-78 та тришарових вуглецевих нанотрубок (ТУ У 26.8 – 30969031-014-2007) з питомою поверхнею  $340 \text{ м}^2/\text{г}$  зовнішнім діаметром –  $(10 \div 20)$  нм. Вміст ВНТ 1,0 мас. % від маси ПП.

СПА є матричним компонентом, відповідає вимогам, які пред'являються до матричного полімеру, має низьку температуру плавлення та розчиняється в дешевому, нетоксичному розчиннику – етиловому спирті. Поліпропілен модифікований (ППіГМА) – поліпропілен зі щепленим малеїновим ангідридом, вміст прищепленого малеїнового ангідриду – 2,6 мас. %.

Змішування полімерів та введення ВНТ здійснювали на черв'ячно-дисковому екструдері марки ЛГП-25.

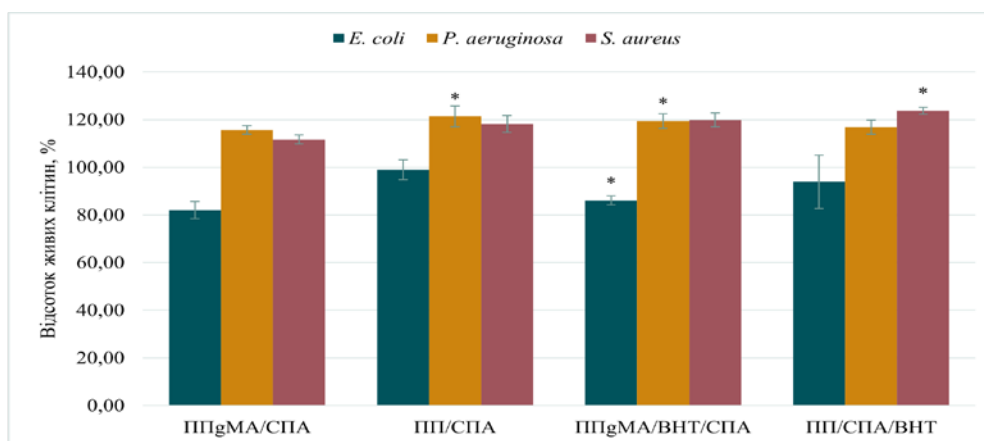
Для порівняння та в якості контролю аналізували біологічні властивості вихідних ниток поліпропілену/співполіаміду (ППіГМА/СПА; ПП/СПА) та поліпропілену/співполіаміду з вуглецевими нанотрубками (ППіГМА/ВНТ/СПА; ПП/СПА/ВНТ).

Для дослідження можливого антибактеріального ефекту полімерних матеріалів використали референтні штами бактерій *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 та *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 отримані в Державній установі «Інститут епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л. В. Громашевського» Національної академії медичних наук України. Визначення антибактеріального ефекту проводили методом окислювально-відновлювальної індикації із застосуванням резазуринату натрію [18]. Зразки полімерів уніфікували за розміром: розмір зразків ППіГМА/СПА та ППіГМА/ВНТ/СПА склав

0,5 см та 0,1–0,2 см в діаметрі, розмір зразків ПП/СПА та ПП/СПА/ВНТ склав 1,0×0,2 см. Кожен зразок був поміщений у відповідну лунку 96-лункового планшета. Одноденні культури *E. coli*, *S. aureus* та *P. aeruginosa*, вирощені на середовищі NB (Фармактив, Україна), вносили у відповідну лунку в концентрації, що відповідає 0,1 ОД. Після цього, планшети інкубували при 37°C протягом 24 год. Зразки полімерів забирали з лунок. До культур бактеріальних клітин вносили по 100 мкл розчину резауринату натрію для досягнення кінцевої концентрації 0,01%. Планшети інкубували при 37°C протягом 20 хвилин. Після цього, проводили спектроскопічні дослідження на планшетному рідері з вертикальним променем (Thermo Labsystems, Вантаа, Фінляндія) при довжинах хвиль 570 нм та 620 нм. Для оцінки бактеріального ефекту приймали контроль бактеріальних клітин без внесення волокон за 100%. Всі визначення були проведені у трьох дослідах, дані усереднені за допомогою медіани, похибка представляє собою інтерквартильний розкид. Для перевірки нульової гіпотези застосовували т-критерій Вілкоксона.

Для дослідження можливості бактеріальних клітин прикріплюватися до волокон, відібрані після 24-годинного культивування зразки також аналізували за допомогою тесту з резауринатом натрію. Після 20-хвилинної інкубації, зразки волокон виймали і оцінювали рівень відновлення резаурину окисно-відновними ферментами бактерій. Аналогічно з попередньою методикою, проводили спектроскопічні дослідження на планшетному рідері з вертикальним променем при довжинах хвиль 570 нм та 620 нм. Для оцінки рівня прикріплених клітин як контроль використовували зразки, що не містили клітин бактерій, а інкубувалися в середовищі NB при 37°C протягом 24 год. Всі дані представлені у вигляді медіан з інтерквартильним розкидом. Статичну достовірність перевіряли за допомогою т-критерію Вілкоксона. Достовірну відмінність між вибірками, що порівнювалися, приймали за  $p \leq 0,05$ .

**Результати дослідження.** При аналізі впливу полімерних матеріалів на ріст бактеріальних клітин, було встановлено, що зразки ПП/СПА та ППgМА/ВНТ/СПА достовірно підвищують життєздатність клітин бактерій штаму *P. aeruginosa* на 21,4 та 19,4% відповідно ( $p \leq 0,05$ ; рис. 1).



\*  $p \leq 0,05$

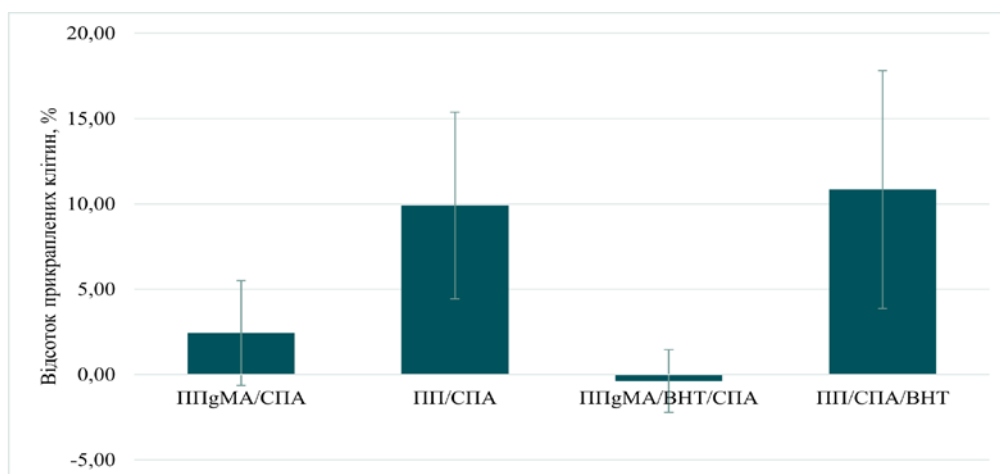
**Рис. 1. Вплив полімерних матеріалів на життєздатність бактеріальних клітин *E. coli*, *S. aureus* та *P. Aeruginosa*; ПП/СПА – поліпропілен/співполіамід, ПП/СПА/ВНТ – поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками, ППgМА/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід, ППgМА/ВНТ/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками**

Достовірне підвищення росту клітин *S. aureus* на 23,7% було показано для зразку ПП/СПА/ВНТ.

Достовірне зниження життєдіяльності бактеріальних клітин *E. coli* було показано для зразку ППgМА/ВНТ/СПА. Зниження було показано на 13,9%.

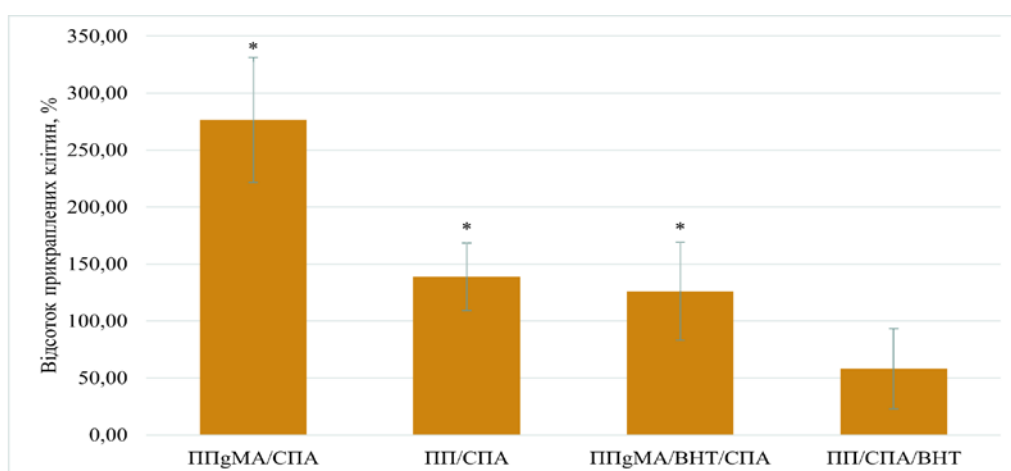
Таким чином, можна зробити висновок, що жоден з досліджених полімерів не володіє яскраво-вираженою антибактеріальною дією, проте зразок ППгМА/ВНТ/СПА проявляє достовірне пригнічення росту бактеріальних клітин *E. coli*.

Наступний етап дослідження полягав в оцінці кількості прикріплених клітин до полімерів. Таким чином, було встановлено, що клітин культури *E. coli* не змогли прикріпитися до жодного з досліджуваних матеріалів (рис. 2).



**Рис. 2.** Кількість прикріплених клітин *E. coli*, до зразків полімерних матеріалів; ПП/СПА – поліпропілен/співполіамід, ПП/СПА/ВНТ – поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками, ППгМА/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід, ППгМА/ВНТ/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками

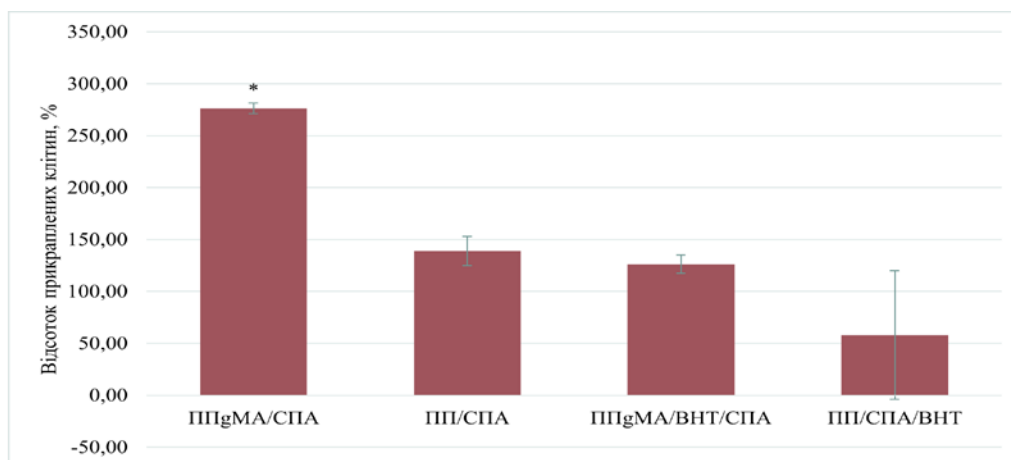
Найбільш значущі результати ми отримали при дослідженні рівня прикріплених клітин *P.aeruginosa*. У всіх зразках був відзначений високий рівень прикріплення клітин, проте, зразок ПП/СПА/ВНТ не мав прикріплених клітин (рис. 3). Це означає, що технологія виробництва хімічних волокон складу поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками забезпечує ефективні відштовхувальні властивості від бактеріальних клітин.



\*  $p \leq 0,05$

**Рис. 3.** Кількість прикріплених клітин *P. aeruginosa* до зразків полімерних матеріалів; ПП/СПА – поліпропілен/співполіамід, ПП/СПА/ВНТ – поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками, ППгМА/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід, ППгМА/ВНТ/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками

При дослідженні рівня прикріплених клітин культури *S. aureus*, лише для зразку ППгМА/СПА показано достовірне прикріплення клітин до поверхні. Ні до зразку ПП/СПА, ППгМА/ВНТ/СПА, ПП/СПА/ВНТ клітини бактерій *S. aureus* не прикріплюються (рис. 4).



\*  $p \leq 0,05$

**Рис. 4** Кількість прикріплених клітин *P. aureus* до зразків полімерних матеріалів; ПП/СПА – поліпропілен/співполіамід, ПП/СПА/ВНТ – поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками, ППгМА/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід, ППгМА/ВНТ/СПА – модифікований поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками

Загалом, можна сказати, що волокна поліпропілену/співполіаміду мають гарні відштовхувальні властивості щодо клітин бактерій *E. coli*, *S. aureus* та *P. aeruginosa*.

**Висновок.** В ході дослідження було встановлено, що жоден з досліджених зразків полімерних матеріалів не володіє яскраво-вираженою антибактеріальною дією, проте зразок вихідного поліпропілену/співполіаміду з вуглецевими нанотрубками проявляє достовірне пригнічення росту бактеріальних клітин *E. coli*. Важливою оцінкою можливості застосування полімерних матеріалів для медичних цілей є їх відштовхувальні або антиадгезивні властивості. Таким чином, при оцінці антиадгезивних властивостей на моделі *E. coli* було встановлено, що всі досліджувані полімерні матеріали мають високі антиадгезивні властивості. На моделі бактеріальних клітин *P. aeruginosa* було показано високу відштовхувальну здатність проти прикріплення клітин лише для зразку поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками. На модельній культурі *S. aureus* було продемонстровано антиадгезивні властивості для зразків поліпропілен/співполіамід та поліпропілен/співполіамід з вуглецевими нанотрубками. Підсумовуючі отримані результати, можна впевнено констатувати, що технологія створення нанополімерних матеріалів на основі суміші поліпропілену/співполіаміду з вуглецевими нанотрубками дозволяє отримати матеріали з високими антиадгезивними властивостями. Це надає надзвичайні перспективи для застосування розроблених матеріалів у виробництві шовних ниток та інших виробів медикобіологічного призначення.

## References

1. Lee, D.-K. Et al. (2022). Electrical and Thermal Properties of Carbon Nanotube Polymer Composites with Various Aspect Ratios. *Materials*, Vol. 15, No. 4, P. 1356. <https://doi.org/10.3390/ma15041356>.

## Література

1. Lee D.-K. Et al. Electrical and Thermal Properties of Carbon Nanotube Polymer Composites with Various Aspect Ratios. *Materials*. 2022. Vol. 15, № 4. P. 1356. <https://doi.org/10.3390/ma15041356>.

2. Mai, Y. W., Yu, Z. Z. (2006). Polymer nanocomposites. 608 p.
  3. Mittal, G., Rhee, K. Y., Park, S. J. (2016). The effects of cryomilling CNTs on the thermal and electrical properties of CNT/PMMA composites. *Polymers*, 8.5. P. 169.
  4. Butenko, O. O. et al. (2020). Osoblyvosti vplyvu nanomaterialiv na ekranuvannya elektromahnitnoho vuprominiuvannya kompozytamy [Peculiarities of the effect of nanomaterials on the shielding of electromagnetic radiation by composites]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Science Series*, No. 3 (146), P. 155–164. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2020.3.13> [in Ukrainian].
  5. Kim, Y., Lee, S., Yoon, H. (2021). Fire-Safe Polymer Composites: Flame-Retardant Effect of Nanofillers. *Polymers*, Vol. 13, No. 4, P. 540. <https://doi.org/10.3390/polym13040540>.
  6. Senyk, I. V. et al. (2020). Development and Application of Thin Wide-Band Screening Composite Materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, Vol. 21, No. 4, P. 771–778. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.771-778>.
  7. Alanazi, A. et al. (2016). Carbon nanotubes buckypaper radiation studies for medical physics applications. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 117, P. 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.01.001>.
  8. Saleemi, M. A. et al. (2021). An Overview of Antimicrobial Properties of Carbon Nanotubes-Based Nanocomposites. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. <https://doi.org/10.34172/apb.2022.049>.
  9. Liu, Z. et al. (2007). Supramolecular Chemistry on Water-Soluble Carbon Nanotubes for Drug Loading and Delivery. *ACS Nano*, Vol. 1, No. 1, P. 50–56. <https://doi.org/10.1021/nn700040t>.
  10. Podesta, J. E. et al. (2009). Antitumor Activity and Prolonged Survival by Carbon-Nanotube-Mediated Therapeutic siRNA Silencing in a Human Lung Xenograft Model. *Small*. <https://doi.org/10.1002/sml.200801572>.
  11. Robinson, J. et al. (2010). High performance in vivo near-IR (>1 μm) imaging and photothermal cancer therapy with carbon nanotubes. *Nano Research*, Vol. 3, No. 11, P. 779–793. <https://doi.org/10.1007/s12274-010-0045-1>.
  12. Kang, S., Mauter, M. S., Elimelech, M. (2008). Physicochemical Determinants of Multiwalled Carbon Nanotube Bacterial Cytotoxicity. *Environmental Science &*
2. Mai Y. W., Yu Z. Z. Polymer nanocomposites. 2006. 608 p.
  3. Mittal G., Rhee K. Y., Park S. J. The effects of cryomilling CNTs on the thermal and electrical properties of CNT/PMMA composites. *Polymers*. 2016. 8.5. P. 169.
  4. Бутенко О. О. та ін. Особливості впливу наноматеріалів на екранування електромагнітного випромінювання композитами. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2020. № 3 (146). С. 155–164. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2020.3.13>.
  5. Kim Y., Lee S., Yoon H. Fire-Safe Polymer Composites: Flame-Retardant Effect of Nanofillers. *Polymers*. 2021. Vol. 13, No. 4. P. 540. <https://doi.org/10.3390/polym13040540>.
  6. Senyk I. V. et al. Development and Application of Thin Wide-Band Screening Composite Materials. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. Vol. 21, No. 4. P. 771–778. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.771-778>.
  7. Alanazi A. et al. Carbon nanotubes buckypaper radiation studies for medical physics applications. *Applied Radiation and Isotopes*. 2016. Vol. 117. P. 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.01.001>.
  8. Saleemi M. A. et al. An Overview of Antimicrobial Properties of Carbon Nanotubes-Based Nanocomposites. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. 2021. URL: <https://doi.org/10.34172/apb.2022.049>
  9. Liu Z. et al. Supramolecular Chemistry on Water-Soluble Carbon Nanotubes for Drug Loading and Delivery. *ACS Nano*. 2007. Vol. 1, No. 1. P. 50–56. <https://doi.org/10.1021/nn700040t>.
  10. Podesta J. E. et al. Antitumor Activity and Prolonged Survival by Carbon-Nanotube-Mediated Therapeutic siRNA Silencing in a Human Lung Xenograft Model. *Small*. 2009. <https://doi.org/10.1002/sml.200801572>.
  11. Robinson J. et al. High performance in vivo near-IR (>1 μm) imaging and photothermal cancer therapy with carbon nanotubes. *Nano Research*. 2010. Vol. 3, No. 11. P. 779–793. <https://doi.org/10.1007/s12274-010-0045-1>.
  12. Kang S., Mauter M. S., Elimelech M. Physicochemical Determinants of Multiwalled Carbon Nanotube Bacterial Cytotoxicity.

- Technology, Vol. 42, No. 19, P. 7528–7534. <https://doi.org/10.1021/es8010173>.
13. Lu, X. et al. (2019). Long-term pulmonary exposure to multi-walled carbon nanotubes promotes breast cancer metastatic cascades. *Nature Nanotechnology*, Vol. 14, No. 7, P. 719–727. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0472-4>.
14. Rezanova, V. H., Rezanova, N. M. (2020). Prohramne zabezpechennia dlia doslidzhennia polimernykh system: monohrafiia [Prohramne zabezpechennia dlia doslidzhennia polimernykh system: monohrafiia]. Kyiv: ArtEk. 358 p. [in Ukrainian].
15. Tsebrenko, M. V., Rezanova, V. H., Melnyk, I. A., Rezanova, N. M., Viltsaniuk, O. A., Khutorianskiy, M. O. (2012). Nanonapovneni polipropilenovi mononytky [Nano-filled polypropylene monofilaments]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Science Series*, No. 4, P. 93–96 [in Ukrainian].
16. Melnyk, I. A., Rezanova, V. H., Tsebrenko, M. V., Rezanova, N. M., Hotfrid, A. O., Viltsaniuk, O. A. (2013). Polipropilenovi khirurhichni mononytky z antimikrobnymy vlastyvostiamy [Polypropylene surgical monofilaments with antimicrobial properties]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Science Series*, No. 2, P. 79–85 [in Ukrainian].
17. Rezanova, N. M., Plavan, V. P., Dziubenko, L. S., Sapiianenko, O. O., Horbyk, P. P., Korshun, A. V. (2018). Strukturoutvorennia u kompatybilizovanykh nanonapovnenykh roztopakh polipropilen/plastyfikovanyi polivinilovyi spyrnt [Structure formation in compatibilized nanofilled melts of polypropylene/plasticized polyvinyl alcohol]. *Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnolohii = Nanosystems, nanomaterials, nanotechnologies*, Vol. 16, No. 1, P. 55–70 [in Ukrainian].
18. Chakansin, Chanthiwa et al. (2022). Resazurin rapid screening for antibacterial activities of organic and inorganic nanoparticles: Potential, limitations and precautions. *Analytical Biochemistry*, 637 (2022): 114449. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2022.114449>.
- Environmental Science & Technology*. 2008. Vol. 42, No. 19. P. 7528–7534. <https://doi.org/10.1021/es8010173>.
13. Lu X. et al. Long-term pulmonary exposure to multi-walled carbon nanotubes promotes breast cancer metastatic cascades. *Nature Nanotechnology*. 2019. Vol. 14, No. 7. P. 719–727. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0472-4>.
14. Резанова В. Г., Резанова Н. М. Програмне забезпечення для дослідження полімерних систем: монографія. К.: АртЕк, 2020. 358 с.
15. Цебренко М. В., Резанова В. Г., Мельник І. А., Резанова Н. М., Вільцанюк О. А., Хуторянський М. О. Нанонаповнені поліпропіленові мононитки. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2012. № 4. С. 93–96.
16. Мельник І. А., Резанова В. Г., Цебренко М. В., Резанова Н. М., Готфрід А. О., Вільцанюк О. А. Поліпропіленові хірургічні мононитки з антимікробними властивостями. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2013. № 2. С. 79–85.
17. Резанова Н. М., Плаван В. П., Дзюбенко Л. С., Сап'яненко О. О., Горбик П. П., Коршун А. В. Структуроутворення у компатибілізованих нанонаповнених розтопах поліпропілен/пластифікований полівініловий спирт. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2018. Т. 16, № 1. С. 55–70.
18. Chakansin, Chanthiwa et al. Resazurin rapid screening for antibacterial activities of organic and inorganic nanoparticles: Potential, limitations and precautions. *Analytical Biochemistry*. 2022. 637. 114449. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2022.114449>.

**ISHCHENKO OLENA**

Doctor of Sci., Associate Professor  
Department of Chemical Technologies and Resource  
Saving, Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>

Scopus Author ID: 57200013816

Researcher ID: GYV-0809-2022

E-mail: [ishhenko.ov@knutd.com.ua](mailto:ishhenko.ov@knutd.com.ua)

**PLAVAN VIKTORIIA**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of  
Department of Chemical Technologies and Resource  
Saving, Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine

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

Scopus Author ID: 6603130130

Researcher ID: I-5852-2015

E-mail: [plavan.vp@knutd.edu.ua](mailto:plavan.vp@knutd.edu.ua)

**SHYDLOVSKA OLGA**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,  
Department of Biotechnology, Leather and Fur,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-6926-3672>

Scopus Author ID: 57073833800

Researcher ID: D-6578-2019

E-mail: [shydlovska.oa@knutd.edu.ua](mailto:shydlovska.oa@knutd.edu.ua)

**KHARCHENKO YEVHEN**

master`s student Department of Chemical Technologies  
and Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-4246-3746>

E-mail: [y.kharchenko@farmak.ua](mailto:y.kharchenko@farmak.ua)

**ISHCHENKO O. V., PLAVAN V. P., SHYDLOVSKA O. A., KHARCHENKO Ye.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**RESEARCH OF THE ANTIBACTERIAL EFFECT  
OF NANO-FILLED POLYMER MATERIALS**

**Purpose.** The aim of the scientific work is to research the antibacterial effect of nano-filled polymer materials based on a mixture of polypropylene/co-polyamide with the addition of carbon nanotubes.

**Methodology.** To evaluate the antibacterial effect of nano-filled polymer materials, reference strains of *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 bacteria were used. The antibacterial effect of polymer samples was determined by the method of redox indication using sodium resazurate. To investigate the ability of bacterial cells to attach to polymeric materials, samples taken after 24-hour cultivation were also analyzed using the sodium resazurate test. Statistical validity was tested using the Wilcoxon *t*-test.

**Findings.** The antibacterial effect of nanofilled polymer materials based on a mixture of polypropylene/copolyamide with the addition of carbon nanotubes was studied. It was established that the original polypropylene/co-polyamide with carbon nanotubes reliably inhibits the growth of *E. coli*. Investigation of anti-adhesive properties of polymers showed effective and reliable repellency against *E. coli*, *P. aeruginosa* and *S. aureus* cell attachment for polypropylene/co-polyamide with carbon nanotubes.

**Originality** The scientific novelty of the work consists in establishing the antibacterial and anti-adhesive properties of nano-filled polymer materials based on a mixture of polypropylene/co-polyamide with the addition of carbon nanotubes.

**Practical value** The antibacterial effect of the original polypropylene/co-polyamide with the addition of carbon nanotubes (1 wt.%) was established, as well as the high anti-adhesive effect of polypropylene/co-polyamide with the addition of carbon nanotubes against a number of bacterial strains, which is important for materials in contact with wound surfaces.

**Keywords:** polypropylene fibers; carbon nanotubes; nanocomposites; antibacterial properties.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.9>

УДК 677.494

<sup>1</sup>ПЛАВАН В. П., <sup>1</sup>ІЩЕНКО О. В., <sup>1</sup>ТИТАРЕНКО С.,  
<sup>1</sup>СІДЕЛЬНИКОВ Я., <sup>2</sup>ТАРАСЕНКО Н. В.

<sup>1</sup>Київський національний університет технологій і дизайну, Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет КПІ ім. І. Сікорського, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВОЛОКНИСТИХ ОСНОВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ СОРБЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

**Мета дослідження** – порівняльний аналіз двох типів волокнистих основ для виготовлення композиційних матеріалів із сорбційними властивостями шляхом просочення волокнистої основи наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів.

**Методика.** Як волокнисті основи для отримання сорбентів в роботі були використані: 1) голкопробивний нетканый матеріал з поверхневою щільністю 227 г/м<sup>2</sup> (ПУ/ПА-6.6), отриманий з відходів поліуретан-поліамідних хімічних волокон. Складається з комплексних волокон Lycra 162С (лінійна густина 4,4 текс) (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %; 2) нетканый матеріал з поліефірних мікрОВОЛОКОН, отриманих аеродинамічним методом з поверхневою щільністю 178 г/м<sup>2</sup> (ПЕТФ). Для просочення волокнистої основи були використані наповнені дисперсії водорозчинних полімерів ПВС і крохмалю. Як адсорбент до складу дисперсії вводили порошок глини монтморилонітового типу в кількості від 5 до 10% від загальної маси. Досліджували вплив концентрації полімерних розчинів та кількість введеного адсорбенту на вологопоглинання та паропроникність матеріалів згідно ISO 20158:2018 та ISO 15496:2018, механічну міцність матеріалів при розтягуванні визначали на розривній машині типу РМ-30, відповідно стандарту ДСТУ ISO 9073-3:2003.

**Результати.** Доведено, що підвищення концентрації полімерного зв'язуючого призводить до ущільнення структури волокнистої основи і, як наслідок, до зростання її поверхневої щільності. Також на величину поверхневої щільності впливає кількість мінерального сорбенту: введення 5% глини призводить до зростання поверхневої щільності волокнистої основи ПЕТФ більше ніж у 2 рази, а з 10% глини поверхнева щільність зростає ще майже вдвічі. Із підвищенням концентрації водорозчинних полімерів і вмісту глини в дисперсії, вологопоглинання всіх типів нетканых матеріалів децю знижується. Фізико-механічні властивості волокнистих матеріалів залежать від типу вихідного волокна, типу та концентрації полімерного зв'язуючого і кількості введеного глинистого адсорбенту. Підвищення концентрації розчину ПВС призводить до підвищення міцності просоченої волокнистої основи як ПУ/ПА-6.6, так і ПЕТФ, але викликає зменшення показника відносного видовження при розриванні. Втрата еластичності матеріалів відбувається в результаті структурування, причому ступінь структурування в разі застосування наповнених дисперсій ПВС вища.

**Наукова новизна дослідження** полягає у використанні двох різних типів нетканых матеріалів з різною структурою та складом, просочених наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів, як волокнистих основ для отримання в подальшому волокнистих композиційних матеріалів з сорбційними властивостями.

**Практична значимість.** Композиційні матеріали з сорбційними властивостями можуть бути в подальшому використані для очистки стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів.

**Ключові слова:** волокнисті відходи; поліуретан-поліамідні волокна; поліефірні мікрОВОЛОКОНА; монтморилоніт; фізико-механічні властивості; сорбційні властивості.

**Вступ.** Одним з основних завдань на шляху до досягнення цілей сталого розвитку є забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами [1] зокрема через зменшення обсягів скидання неочищених стічних вод, у першу чергу з використанням інноваційних технологій водоочищення. Тому створення ефективних та екологічно безпечних методів очищення води від іонів важких металів є одним з найважливіших завдань. Один із перспективних напрямків є використання волокнистих відходів як основи для створення

сорбційних матеріалів, що стає екологічно обґрунтованим та сприяє утворенню більш сталого підходу до вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища.

Одним з перших кроків у створенні композиційних матеріалів із сорбційними властивостями є вибір відповідних базових матеріалів. Базовий матеріал виступає як носій для хемосорбенту, який в свою чергу взаємодіє з забруднюючими речовинами і утримує їх на своїй поверхні. Ці матеріали мають бути стійкими до хімічних реакцій та забезпечувати велику площу поверхні для взаємодії з розчиненими речовинами. Текстильні матеріали, зокрема волокнисті відходи, можуть служити хорошими базовими матеріалами для створення сорбційних композиційних матеріалів [2].

Авторами розроблений спосіб отримання полімерного композиційного матеріалу із сорбційними властивостями з відходів поліуретан-поліамідних хімічних волокон, причому для підвищення сорбційної здатності застосували просочення дисперсіями водорозчинних полімерів, наповнених глинистими мінералами [3], перевірена їх сорбційна здатність на метиленовому синьому [4]. Для зміцнення волокнистого сорбційного матеріалу застосували трикотажну основу, а для підсилення сорбційної здатності глинистих мінералів застосували їх кислотну обробку [5].

Процес формування композиційних комбінованих матеріалів складається з наступних основних етапів [6]: одержання волокнистої основи; нанесення розчину полімерної зв'язуючої речовини на волокнисту основу; дифузія розчину полімерної зв'язуючої речовини в структуру одиночних волокон, ниток чи полотна; утворення адгезійної взаємодії полімерна зв'язуюча речовина – волокнистий матеріал; фіксація полімерної речовини у волокнистому матеріалі. У свою чергу повнота та ефективність протікання основних процесів, що супроводжують формування комбінованих текстильних/нетканих матеріалів, визначається властивостями текстильних компонентів (природа волокнистого матеріалу, структура та пористість); властивостями полімерного зв'язуючого (в'язкість, змочувальна здатність); параметрами формування (температура, тривалість обробки) [7]. При виборі виду полімерної зв'язуючої речовини важливим фактором є її малотоксичність та екологічність. На сьогоднішній день перевага надається полімерним зв'язуючим речовинам, в яких як розчинник або дисперсійне середовище використовується вода.

**Постановка завдання.** Мета дослідження – порівняльний аналіз двох типів волокнистих основ для виготовлення композиційних матеріалів із сорбційними властивостями шляхом просочення волокнистої основи наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні завдання:

– визначення впливу концентрації розчинів водорозчинних полімерів та кількості введеного глинистого адсорбенту на вологопоглинання, паропроникність волокнистих основ, просочених наповненими дисперсіями полімерів;

– визначення впливу концентрації розчинів водорозчинних полімерів та кількості введеного глинистого адсорбенту на фізико-механічні характеристики матеріалів.

**Методологія дослідження.** Як основа для отримання основ волокнистих сорбентів в роботі були використані:

1) голкопробивний нетканий матеріал з поверхневою щільністю 227 г/м<sup>2</sup> (ПУ/ПА-6,6), отриманий з відходів поліуретан-поліамідних хімічних волокон. Складається з комплексних волокон Lysra 162C (лінійна густина 4,4 текс) (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %.

2) нетканий матеріал з поліефірних мікрОВОЛОКОН, отриманих аеродинамічним методом поверхневою щільністю 178 г/м<sup>2</sup> (ПЕТФ).

Для підсилення сорбційної здатності до волокнистих основ вводили порошок глини монтморилонітового типу. В результаті попередніх досліджень було визначено, що кращі

сорбційні властивості мають неткані матеріали, наповнені глиною монтморилонітового типу [3]. Тому для подальших досліджень використали саме цю глину.

Монтморилоніт (ММТ) – це шаруватий силікат із загальною формулою  $(Ca,Na)(Al,Mg,Fe)_2(OH)_2[(Si,Al)_4O_{10}] \cdot nH_2O$ . Хімічний склад мінералу:  $SiO_2$  – 51,9%,  $Al_2O_3$  – 17,10%,  $Fe_2O_3$  – 7,92 %,  $MgO$  – 1,18%,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  і  $CaO$  до 2% і  $H_2O$  – 8,78%. Монтморилонітова глина – це глина формовочна вогнестійка маломіцна за межею міцності при стисканні у вологому стані та малов'язка у сухому стані. Основні характеристики використаного глинопорошку наведені в табл. 1

Таблиця 1

**Основні характеристики глинопорошку монтморилоніту**

Зразок	ММТ	
Масова частка вологи, %	11,1	
Залишок на ситі №0071, %*	3,0	
Вміст $Na_2CO_3$ , мас. %	2,5	
Межа міцності при стисканні, Па, не менше	Вологий стан	$1,961 \cdot 10^4$
	Сухий стан	14,710

\*Примітка: Згідно ДСТУ Б В.2.7-89-99.

В роботі досліджували властивості нетканих матеріалів з поліефірних мікрОВОЛОКОН (ПЕТФ) та відходів поліуретан-поліамідних хімічних волокон ПУ/ПА-6.6, просочених розчинами крохмалю (КР) та полівінілового спирту (ПВС) різної концентрації з додаванням 5–10% глини. Вибір ПВС і крохмалю, як водорозчинних полімерів для просочення волокнистої основи, обумовлений їх доступністю, екологічністю, високою розчинністю у воді, стійкістю до мікробіологічних уражень. Визначення вологопоглинання та паропроникності в неізотермічних умовах проводили згідно ISO 20158:2018 [8] та ISO 15496:2018 [9]; визначення характеристик механічних властивостей нетканих матеріалів при розтягуванні на розривній машині типу РМ-30, проводили відповідно до стандарту [10].

**Результати дослідження.** В табл. 2–3 наведені характеристики зразків волокнистих основ, на які нанесли дисперсії водорозчинних полімерів різної концентрації (від 1 до 3%), наповнені монтморилонітом. Спочатку готували водні розчини полімерних зв'язуючих речовин різних концентрацій, в які при постійному перемішуванні додавали глинисті мінерали, а потім на поверхню волокнистих основ ракульним ножом наносили отриману дисперсію.

Як видно із наведених даних, підвищення концентрації полімерного зв'язуючого призводить до ущільнення структури волокнистої основи і, як наслідок, до зростання її поверхневої щільності. Також на величину поверхневої щільності впливає кількість мінерального сорбенту, нанесеного на волокнисту основу у складі дисперсії водорозчинних полімерів. Зокрема, якщо поверхнева щільність поліефірної основи, просоченої дисперсією крохмалю 1% без мінерального сорбенту становить  $89 \text{ г/м}^2$ , то введення 5% глини призводить до зростання поверхневої щільності більше ніж у 2 рази ( $238 \text{ г/м}^2$ , таблиця 2), а з 10% глини поверхнева щільність зростає ще майже вдвічі ( $421 \text{ г/м}^2$ ).

Спостерігається безпосередній зв'язок між поверхневою щільністю матеріалів і кількістю внесеної глини, про що свідчить значення фактичного приросту маси зразка, %. Зокрема, якщо поверхнева щільність волокнистої основи ПУ-ПА6.6, просоченої розчином ПВС 2% без мінерального сорбенту становить  $253 \text{ г/м}^2$ , то введення 5% глини призводить до зростання поверхневої щільності майже у 2 рази ( $493 \text{ г/м}^2$ ), а з 10% глини (табл. 4) поверхнева щільність зростає ще більше ніж вдвічі ( $593 \text{ г/м}^2$ ).

Збільшення концентрації розчину ПВС також призводить до незначного зростання поверхневої щільності: для волокнистої основи ПУ-ПА6.6, просоченої розчином ПВС 2% без

мінерального сорбенту поверхнева щільність становить 253 г/м<sup>2</sup>, а у разі застосування для просочення 3% розчину ПВС поверхнева щільність становить 285 г/м<sup>2</sup>.

Таблиця 2

**Результати нанесення наповнених дисперсій водорозчинних полімерів  
на волокнисту основу ПЕТФ**

№	Полімерна зв'язуюча речовина (ПЗР)	Конц. вод. розчину, %	Кількість ММТ в дисперсії, %	Фактичний приріст маси, %	Поверхнева щільність основи, г/ м <sup>2</sup>
1	Кр	1	0	39,2	89
2	Кр	2		39,6	90
3	Кр	3		37,1	93
4	ПВС	2		78,9	116
5	ПВС	3		132,4	151
6	Кр	1	5	269,2	238
7	Кр	2		360,5	295
8	Кр	3		400,0	316
9	ПВС	2		342,0	284
10	ПВС	3		357,5	311
11	Кр	1	10	549,3	421
12	Кр	2		538,9	421
13	Кр	3		599,6	446
14	ПВС	2		496,7	384
15	ПВС	3		599,6	449

Таблиця 3

**Результати нанесення наповнених дисперсій водорозчинних полімерів  
на волокнисту основу ПУ/ПА-6.6**

№	ПЗР	Конц. вод. розчину, %	Кількість ММТ в дисперсії, %	Фактичний приріст маси, %	Поверхнева щільність матеріалу, г/ м <sup>2</sup>
1	Кр	1	0	16,9	234
2	Кр	2		13,9	240
3	Кр	3		13,5	245
4	ПВС	2		41,1	253
5	ПВС	3		59,0	285
6	Кр	1	5	68,6	347
7	Кр	2		80,4	374
8	Кр	3		107,8	383
9	ПВС	2		146,3	493
10	ПВС	3		190,2	525
11	Кр	1	10	137,3	449
12	Кр	2		139,8	467
13	Кр	3		159,1	486
14	ПВС	2		231,5	593
15	ПВС	3		258,4	863

Аналогічні залежності спостерігаються і для волокнистої основи ПЕТФ. Збільшення як кількості введеної глини, так і концентрації розчинів ПВС і крохмалю, призводить до

підвищення поверхневої щільності волокнистої основи ПЕТФ. Однак загалом поверхнева щільність ПЕТФ основи нижча ніж волокнистої основи ПУ-ПА6,6, хоча загальна кількість введеного адсорбенту вища, про що свідчить більший приріст маси зразка.

Результати визначення показників фізико-механічних властивостей волокнистих основ, просочених наповненими дисперсіями крохмалю і ПВС, наведені в табл. 4–5. Результати визначення вологопоглинання і паропроникності основ з поліефірних волокон та ПУ/ПА-6,6 нетканого матеріалу, просочених розчинами крохмалю та ПВС різної концентрації з додаванням 5–10% глини наведені на рис. 1–2.

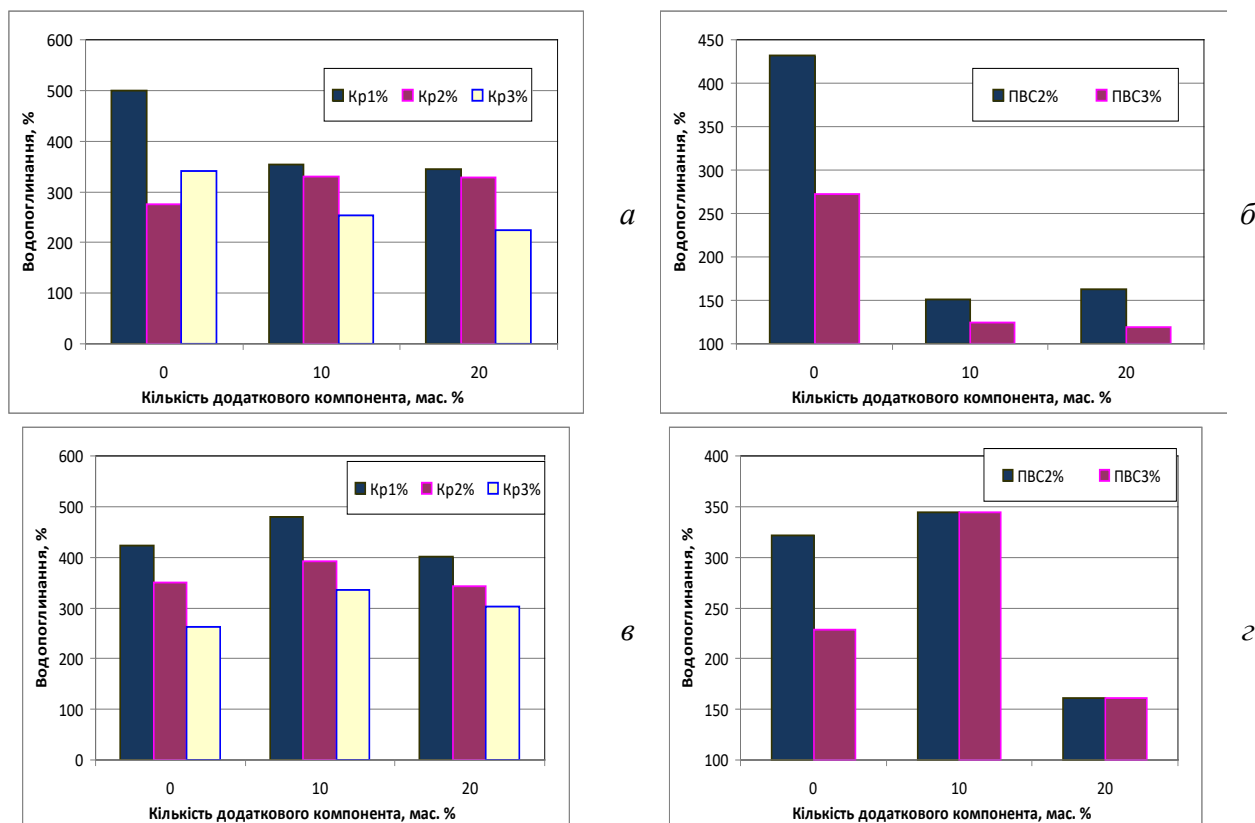


Рис. 1. Результати визначення вологопоглинання нетканих матеріалів, просочених наповненими дисперсіями ПВС і крохмалю: а-б) ПЕТФ; в-г) ПУ/ПА-6.6

Як видно з наведених даних, із підвищенням концентрації водорозчинних полімерів і вмісту глини в дисперсії, вологопоглинання всіх типів нетканих матеріалів дещо знижується. Ці дані чітко корелюються із величиною поверхневої щільності зразків нетканих матеріалів і можна пояснити зменшенням пористості волокнистих основ яке відбувається при їх набуханні в процесі обводнення в разі нанесення більш концентрованих дисперсій з вищим вмістом глини.

Результати визначення показників фізико-механічних властивостей волокнистих матеріалів наведені в табл. 4–5.

Як видно із наведених даних (табл. 4), для зразків нетканого матеріалу на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6 в результаті просочення наповненими дисперсіями ПВС спостерігається підвищення розривного навантаження майже втричі (з 49,0 Н/5см до 140,14 Н/5 см). Із збільшенням кількості введеної глини відбувається зниження розривного навантаження майже вдвічі (140,14 Н/5 см проти 76,44 Н/5см). Підвищення концентрації розчину ПВС призводить до підвищення міцності просоченої волокнистої основи (202,37 Н/5 см проти 76,44 Н/5 см).

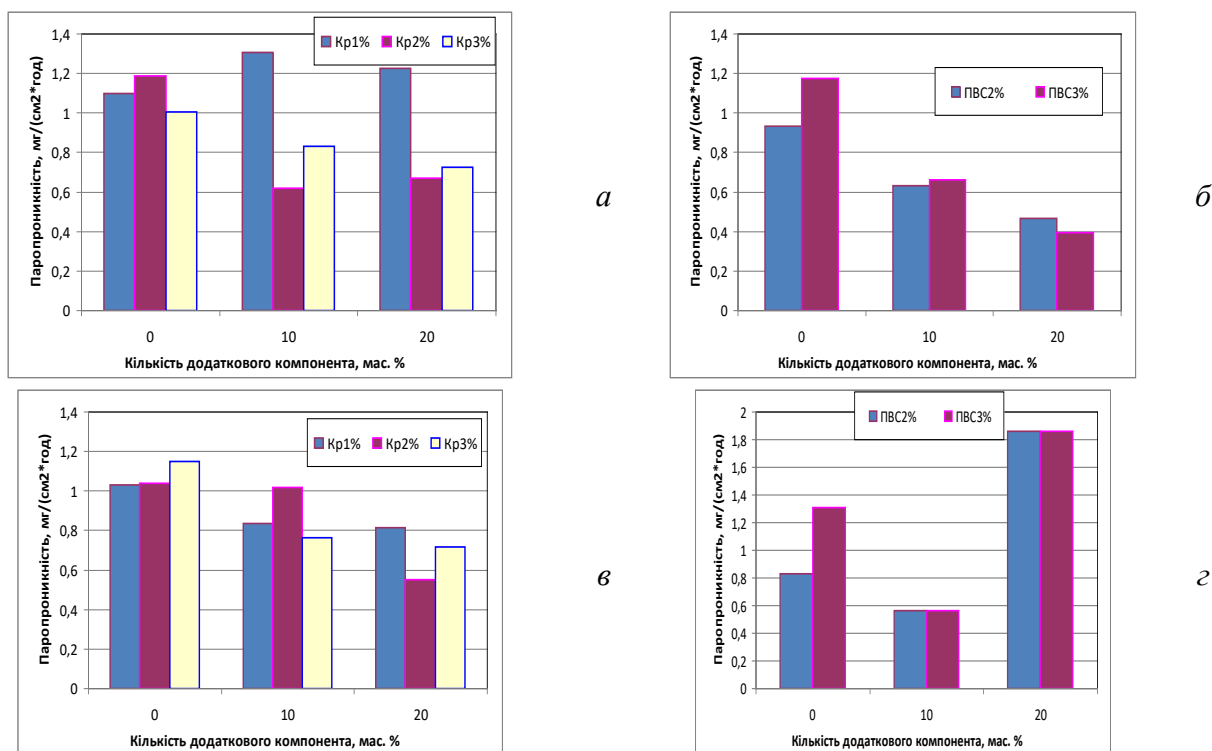


Рис. 2. Результати визначення паропроникності нетканих матеріалів, просочених наповненими дисперсіями крохмалю і ПВС а-б) ПЕТФ; в-г) ПУ/ПА-6.6

Таблиця 4

Результати визначення фізико-механічних властивостей волокнистих матеріалів на основі ПУ/ПА-6.6

Додатковий компонент мас. %	Розривне навантаження			Відносна міцність, Н·м/г	Розривне видовження, %	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>
	Н	Н/5 см	Н/м			
Вихідний нетканый матеріал ПУ/ПА-6.6	9,36	46,80	935,90	4,12	46	227
2% ПВС чистий	9,80	49,00	980,00	3,44	13,0	253
2% ПВС 5% ММТ	28,03	140,14	2802,80	5,69	64,2	493
2% ПВС 10% ММТ	15,29	76,44	1528,80	1,71	63,3	593
3% ПВС чистий	15,68	78,40	1568,00	6,20	9,4	285
3% ПВС 5% ММТ	45,67	228,34	4566,80	8,70	37,8	525
3% ПВС 10% ММТ	40,47	202,37	4047,40	6,10	50,0	664
1% Кр 5% ММТ	13,72	68,60	1372,00	3,95	120	347
1% Кр 10% ММТ	12,74	63,70	1274,00	2,84	102	449
2% Кр 5% ММТ	13,72	68,60	1372,00	3,67	120	374
2% Кр 10% ММТ	12,74	63,70	1274,00	2,73	85	467
3% Кр 5% ММТ	12,08	60,42	1208,34	3,15	86	383
3% Кр 10% ММТ	10,45	52,23	1044,68	2,15	80	486

В результаті нанесення наповнених дисперсії крохмалю і ПВС, відносна міцність зразків волокнистої основи ПУ/ПА-6,6, яку розраховували з урахуванням поверхневої щільності зразків, очікувано знижується. Початкове підвищення міцності зразків, яке відбувається в результаті просочення волокнистої основи наповненими дисперсіями

крохмалю і ПВС супроводжується зростанням показника відносного видовження при розриванні майже втричі (з 46 до 120% для крохмалю та з 13 до 64,2% для ПВС). По мірі збільшення кількості введеної глини, відносне видовження при розриванні знижується, що пов'язано з втратою еластичності матеріалів в результаті структурування, причому ступінь структурування в разі застосування наповнених дисперсій ПВС вища. Про це свідчить зменшення величини показника відносного видовження (табл. 4).

Як видно із наведених даних (табл. 5), для зразків нетканого матеріалу з волокон ПЕТФ в результаті просочення наповненими дисперсіями ПВС спостерігається спочатку підвищення розривного навантаження (з 60,27 Н/5см до 91,14 Н/5 см), але потім з підвищенням кількості введеної глини цей показник знижується більше ніж удвічі до 40,67 Н/5см. Підвищення концентрації розчину ПВС призводить до підвищення міцності просоченої волокнистої основи ПЕТФ (50,47 Н/5 см проти 40,67 Н/5 см).

Таблиця 5

**Результати визначення фізико-механічних властивостей волокнистих матеріалів на основі ПЕТФ**

Додатковий компонент мас. %	Розривне навантаження			Відносна міцність, Н·м/г	Відносне видовження, %	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>
	Н	Н/5 см	Н/м			
Вихідний нетканий матеріал ПЕТФ	19,31	96,53	1930,60	10,85	38	178
2% ПВС чистий	12,05	60,27	1205,4	10,39	23	116
2% ПВС 5% ММТ	18,23	91,14	1822,8	6,42	16	284
2% ПВС 10% ММТ	8,13	40,67	813,4	2,12	5	384
3% ПВС чистий	7,45	37,24	744,8	4,93	30	151
3% ПВС 5% ММТ	11,37	56,84	1136,8	3,66	13	311
3% ПВС 10% ММТ	10,09	50,47	1009,4	2,25	9	449
1 % Кр чистий	4,24	21,22	424,34	4,77	109	89
1% Кр 5% ММТ	7,51	37,53	750,68	3,15	104	238
1% Кр 10% ММТ	6,20	31,02	620,34	1,47	73	421
2% Кр чистий	4,24	21,22	424,34	4,71	69	90
2% Кр 5% ММТ	5,88	29,40	588,00	1,99	60	295
2% Кр 10% ММТ	5,55	27,73	554,68	1,32	29	421
3% Кр чистий	6,53	32,63	652,68	7,02	71	93
3% Кр 5% ММТ	5,88	29,40	588,00	1,86	35	316
3% Кр 10% ММТ	6,53	32,63	652,68	1,46	39	446

Відносна міцність зразків волокнистої основи ПЕТФ, яку розраховували з урахуванням поверхневої щільності зразків, очікувано знижується в результаті нанесення наповнених дисперсій крохмалю і ПВС. Підвищення міцності зразків, яке відбувається в результаті нанесення наповнених дисперсій крохмалю на поверхню волокнистої основи ПЕТФ викликає зростання показника відносного видовження при розриванні майже втричі – з 38 до 109%. В результаті нанесення наповнених дисперсій ПВС на поверхню волокнистої основи ПЕТФ відбувається зниження показника відносного видовження з 23 до 16%. По мірі збільшення кількості введеної глини, відносне видовження при розриванні ще більше знижується, що пов'язано з втратою еластичності матеріалів в результаті структурування. Зменшення величини показника відносного видовження (табл. 5) свідчить про те, що в разі застосування наповнених дисперсій ПВС ступінь структурування вища.

Збільшення як кількості введеної глини, так і концентрації розчинів ПВС і крохмалю, призводить до підвищення поверхневої щільності волокнистої основи ПЕТФ. Однак

поверхнева щільність ПЕТФ основи нижча ніж волокнистої основи ПУ-ПА6.6, хоча загальна кількість введеного адсорбенту вища, про що свідчить більший приріст маси зразка. Загалом, результати визначення механічної міцності зразків волокнистої основи ПЕТФ мають зворотній корелюючий зв'язок з кількістю введеного глинистого адсорбенту.

Менша еластичність волокнистої основи ПЕТФ з одного боку ускладнює практичне застосування матеріалу, але з іншого боку, можливість введення більшої кількості мінерального адсорбенту в структуру волокнистої основи може сприяти підвищенню сорбційної здатності волокнистих композитів на ПЕТФ основі в цілому.

Остаточні висновки щодо можливості застосування волокнистої основи з поліефірних волокон для одержання волокнистих сорбентів шляхом просочення волокнистої основи наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів, можна буде зробити після визначення сорбційної здатності волокнистих композитів на ПЕТФ основі.

**Висновки.** В ході досліджень було встановлено, що підвищення концентрації ПВС і крохмалю призводить до ущільнення структури волокнистих основ обох типів і, як результат, до зростання їх поверхневої щільності. Також на величину поверхневої щільності впливає кількість мінерального адсорбенту, нанесеного на волокнисті основи у складі дисперсій водорозчинних полімерів.

Встановлено, що із підвищенням концентрації водорозчинних полімерів і вмісту глини в дисперсії, волопоглинання всіх типів нетканих матеріалів дещо знижується. Підвищення концентрації розчину ПВС призводить до підвищення міцності просоченої волокнистої основи як ПУ/ПА-6.6 (з 76,44 до 202,37 Н/5 см), так і ПЕТФ (з 40,67 до 50,47 Н/5 см), але викликає зменшення показника відносного видовження при розриванні. Втрата еластичності матеріалів відбувається в результаті структурування, причому ступінь структурування в разі застосування наповнених дисперсій ПВС вища.

За результатами досліджень визначили, що поверхнева щільність ПЕТФ основи нижча, ніж волокнистої основи ПУ-ПА6.6, хоча загальна кількість введеного адсорбенту вища, про що свідчить більший приріст маси зразка. Менша еластичність волокнистої основи ПЕТФ з одного боку ускладнює практичне застосування матеріалу, але з іншого боку, можливість введення більшої кількості мінерального адсорбенту в структуру волокнистої основи може сприяти підвищенню сорбційної здатності волокнистих композитів на ПЕТФ основі в цілому.

Остаточні висновки щодо можливості застосування волокнистої основи з поліефірних волокон для одержання волокнистих сорбентів шляхом просочення волокнистої основи наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів, можна буде зробити після визначення сорбційної здатності волокнистих композитів на ПЕТФ основі.

## References

## Література

1. Pro Tsili staloho rozvytku Ukrayiny na period do 2030 roku: Ukaz Prezydenta Ukrayiny vid 30.09.2019 № 722/2019 [On the Sustainable Development Goals of Ukraine for the period up to 2030: Decree of the President of Ukraine dated September 30, 2019 No. 722/2019]. *Ofitsiynyy visnyk Prezydenta Ukrayiny = Official Gazette of the President of Ukraine*, No. 21, P. 17, Art. 890.
2. Sharma, K. et al. (2020). Cotton based composite fabric reinforced with waste polyester fibers for improved mechanical properties. *Waste Management*, Vol. 107, P. 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.011>.
3. Tarasenko, N. V., Plavan, V. P., Budash, Yu. O., Tkachenko, I. M. (2021). Doslidzhennia sorbtsiynykh vlastyvostei voloknystykh materialiv, modyfikovanykh

1. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. *Офіційний вісник Президента України*. 2019. № 21. С. 17. Ст. 890.
2. Sharma K. et al. Cotton based composite fabric reinforced with waste polyester fibers for improved mechanical properties. *Waste Management*. 2020. Vol. 107. P. 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.011>.
3. Тарасенко Н. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Ткаченко І. М. Дослідження сорбційних властивостей волокнистих матеріалів,

- hlynystymy mineralamy [Study of sorption properties of fibrous materials modified with clay minerals]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 3, P. 70–78. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7> [in Ukrainian].
4. Plavan, V. P., Tarasenko, N. V., Dutchn, T., Budash, Yu. O. (2021). Rehuliuвання sorbtsiinoi zdatnosti kombinovanykh voloknystykh materialiv, napovnenykh hlynystymy mineralamy [Regulation of the sorption capacity of combined fibrous materials filled with clay minerals]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 4 (26), P. 113–120. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-113-120](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-113-120) [in Ukrainian].
5. Plavan, V. P., Ishchenko, O. V., Tarasenko, N. V., Budash, Yu. O., Kolodiy, A. I. (2023). Zastosuvannya napovnenykh dyspersiy vodorozhynnykh polimeriv dlya funktsionalizatsiyi voloknystykh materialiv [Study of influence and concentration of polymer binder and amount of adsorbent on rheological and physico-mechanical properties]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 1 (12). P. 73–85. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.1.7> [in Ukrainian].
6. Rezanova, N. M., Budash, Yu. O., Plavan, V. P. (2017). Innovatsiyi tekhnolohiyi khimichnykh volokon: navchal'nyy posibnyk [Innovative technologies of chemical fibers: a study guide]. Kyiv: KNUTD. 239 p. [in Ukrainian].
7. Kogan, A. G. Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V., Medvetskii, S. S. (1999). Same possibilities for expanding the assortment of chemical fibres and filaments of new structures. *Fibre Chemistry*, No. 31 (2), P. 102–104.
8. ISO 20158:2018. Tekstyl'. Vyznachennya chasu vodopohlynannya ta vodopohlynal'noyi zdatnosti tekstyl'nykh materialiv [Textile. Determination of water absorption time and water absorption capacity of textile materials] [in Ukrainian].
9. ISO 15496:2018. Tekstyl'. Vymiryuvannya paropronyknosti tekstylyu z metoyu kontrolyu yakosti [Textile. Measurement of vapor permeability of textiles for the purpose of quality control] [in Ukrainian].
10. DSTU ISO 9073-3:2003. Materialy Tekstyl'ni. Metody vyprovuvannya netkanykh materialiv. Chastyna 3. Vyznachennya rozryval'noho navantazhennya ta vydovzhennya pid chas rozryvu [Textile materials. Methods of testing non-woven materials. Part 3. Determination of breaking load and elongation at break]. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=94935](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=94935) [in Ukrainian].
- модифікованих глинистими мінералами. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 3. С. 70–78. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7>.
4. Плаван В. П., Тарасенко Н. В., Дутчин Т., Будащ Ю. О. Регулювання сорбційної здатності комбінованих волокнистих матеріалів, наповнених глинистими мінералами. *Технічні науки та технології*. 2021. № 4 (26). С. 113–120. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-113-120](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-113-120).
5. Плаван В. П., Іщенко О. В., Тарасенко Н. В., Будащ Ю. О., Колодій А. І. Застосування наповнених дисперсій водорозчинних полімерів для функціоналізації волокнистих матеріалів. *Технології та інжиніринг*. 2023, № 1 (12). С. 73–85. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.1.7>.
6. Резанова Н. М., Будащ Ю. О., Плаван В. П. Інноваційні технології хімічних волокон: навчальний посібник. К.: КНУТД, 2017. 239 с.
7. Kogan A. G. Yasinskaya N. N., Skobova N. V., Medvetskii S. S. Same possibilities for expanding the assortment of chemical fibres and filaments of new structures. *Fibre Chemistry*. 1999. № 31 (2). С. 102–104.
8. ISO 20158:2018. Текстиль. Визначення часу водопоглинання та водопоглинальної здатності текстильних матеріалів.
9. ISO 15496:2018. Текстиль. Вимірювання паропроникності текстилю з метою контролю якості.
10. ДСТУ ISO 9073-3:2003. Матеріали текстильні. Методи випробування нетканих матеріалів. Частина 3. Визначення розривального навантаження та видовження під час розриву. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=94935](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=94935).

**PLAVAN VIKTORIIA**

Doctor of Technical Sciences. Professor,  
Head of Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University of  
Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9559-8962>  
Scopus Author ID: [6603130130](https://orcid.org/0000-0001-9559-8962)  
[Researcher ID: I-5852-2015](https://orcid.org/0000-0001-9559-8962)  
E-mail: [plavan.vp@knuutd.edu.ua](mailto:plavan.vp@knuutd.edu.ua)

**TITARENKO SERHIY**

Master's student, Department of Chemical Technologies  
and Resource Saving, Kyiv National University of  
Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [sergey.titarenko@ravagochemicals.com](mailto:sergey.titarenko@ravagochemicals.com)

**TARASENKO NATALIA**

Assistant, Department of General and Inorganic  
Chemistry, National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1062-5533>  
Researcher ID: J-7632-2017  
E-mail: [tarasenko.nv@ukr.net](mailto:tarasenko.nv@ukr.net)

**ISHCHENKO OLENA**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Department of Chemical Technologies and Resource  
Saving, Kyiv National University of Technologies and  
Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>  
SCOPUS Author ID: 57200013816  
Researcher ID: GYV-0809-2022  
E-mail: [ishhenko.ov@knuutd.com.ua](mailto:ishhenko.ov@knuutd.com.ua)

**SYDELNIKOV YAROSLAV**

Master's student, Department of Chemical Technologies  
and Resource Saving, Kyiv National University of  
Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [ktphv@knuutd.edu.ua](mailto:ktphv@knuutd.edu.ua)

**<sup>1</sup>PLAVAN V. P., <sup>1</sup>ISHCHENKO O. V., <sup>1</sup>TITARENKO S.,  
<sup>1</sup>SYDELNIKOV Ya., <sup>2</sup>TARASENKO N. V.**

<sup>1</sup>Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF FIBER BASES FOR THE MANUFACTURE  
OF COMPOSITE MATERIALS WITH SORPTION PROPERTIES**

**Purpose.** Comparative analysis of two types of fibrous bases for the production of composite materials with sorption properties by impregnation of the fibrous base by filled dispersions of water-soluble polymers.

**Methodology.** As a basis for obtaining the fibrous sorbents, the following fibrous bases were used in the work: needle-punched non-woven material with a surface density of 227 g/m<sup>2</sup> (PU/PA-6.6), obtained from waste polyurethane-polyamide chemical fibers. It consists of Lycra 162C complex fibers (linear density 4.4 tex) (PU) and Nylon 6.6 f20/1 fibers (linear density 3.3 tex) (PA-6.6) in a ratio of 70/30 by weight. %. Non-woven material from polyester microfibers obtained by the aerodynamic method with a surface density of 178 g/m<sup>2</sup> (PET). Montmorillonite-type clay powder was added to the composite materials in the range of 5 to 10% of the total mass of the material. Filled dispersions of water-soluble polymers of PVA and starch were used to impregnate the fibrous base. The influence of the concentration of polymer solutions and the amount of introduced adsorbent on the moisture absorption and vapor permeability of materials was studied in accordance with ISO 20158:2018 and ISO 15496:2018, and the characteristics of the mechanical properties of nonwoven materials when stretched on a tearing machine type RM-30 were determined, in accordance with the DSTU standard ISO 9073-3:2003.

**Findings.** It was established that an increase in the concentration of the polymer binder leads to a compaction of the structure of the fibrous base and, as a result, to an increase in its surface density. Also, the surface density is affected by the amount of mineral sorbent: the introduction of 5% clay leads to a more than twice increase in surface density, and with 10% clay, the surface density increases almost twice. With an increase in the concentration of water-soluble polymers and the content of clay in the dispersion, the moisture absorption of all types of non-woven materials decreases somewhat. The physical and mechanical properties of fibrous materials depend on the type of initial fiber, the type and concentration of the polymer binder, and the amount of clay adsorbent introduced. An increase in the concentration of the PVA solution leads to an increase in the strength of the impregnated fibrous base of both PU/PA-6.6 and PET, but causes a decrease in the relative elongation at break. The loss of elasticity of materials occurs as a result of structuring, and the degree of structuring is higher in the case of the use of filled PVA dispersions.

**Originality.** *The use of two different types of non-woven materials with different structure and composition, impregnated with filled dispersions of water-soluble polymers, which can later be used to obtain fibrous composite materials with sorption properties.*

**Practical value.** *Composite materials with sorption properties, based on fibrous waste, can be used in the future for the purification of wastewater from light and chemical industry enterprises from heavy metal ions.*

**Keywords:** *fibrous waste; polyurethane-polyamide fibers; polyester microfibers; montmorillonite; physical and mechanical properties; sorption properties.*

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.10>

УДК 678.679:2

СВІСТІЛЬНИК Р. Ф., ФЕДОРІВ Т. Р.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ВПЛИВ ПОЛІМЕРНИХ МАТРИЦЬ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ

**Мета дослідження.** З'ясувати вплив полімерної матриці на електричні властивості композитного покриття на основі електропровідного вуглецевого наповнювача.

**Методи дослідження:** Вимірювання питомого поверхневого та об'ємного електричного опору здійснювалось на чотирьох електродній комірці за методом Кельвіна. Динамічну в'язкість розчину полімерної матриці вимірювали на ротаційному віскозиметрі VEVOR марки NDJ-9S. Вимірювання сухого залишку розчину композитного покриття проводилось ваговим методом.

**Результати.** Встановлено вплив полімерних матриць на електричні властивості композитного полімерного покриття. Виявлено, що найнижчий поверхневий та об'ємний електричний опір спостерігається у композитного покриття на основі нітроцелюлози (НЦ), що ймовірно пов'язано з наявністю у полімерної матриці високо полярних нітро груп.

Найвищий поверхневий та об'ємний електричний опір спостерігається при використанні полімерної матриці – бакелітова смола (БС). Для композитних покриттів з комбінованою полімерною матрицею на основі полівінілбутиралу (ПВБ) та 5% і 10% бакелітової смоли (БС) спостерігається більш низьке значення опору при вмісті 5% БС та підвищення електричного опору при вмісті БС 10% в порівнянні з композитним покриттям на основі полівінілбутиралу (ПВБ).

Вибір конкретної полімерної матриці для електропровідного композитного покриття визначається її специфічними властивостями, зокрема, міцність, хімічна стійкість, вогнестійкість.

**Наукова новизна.** Встановлено вплив полімерної матриці на питомий електричний опір композитних покриттів.

**Практична значимість.** Результати отриманих досліджень дозволять вибирати потрібну полімерну матрицю для гнучких нагрівальних елементів в залежності від їх застосування

**Ключові слова:** полівінілбутираль (ПВБ); нітроцелюлоза(НЦ); поліуретан(ПУ); бакелітова смола (БС); електропровідний наповнювач; електропровідні покриття; сажа; графіт.

**Вступ.** Були проведені численні дослідження, спрямовані на вивчення впливу полімерних матриць на електропровідність композитних полімерних покриттів [1]. Так, взаємодія між матрицею та електропровідним наповнювачем, таким як вуглецеві нанотрубки або графен, може впливати на розподіл та орієнтацію наповнювача в полімері. Це, в свою чергу, може впливати на загальну електропровідність композиту.

Морфологічні зміни в композиті, зумовлені різними полімерними матрицями, можуть впливати на створення електричних шляхів між наповнювачами. Різні полімерні матриці викликають різні морфологічні структури в композитах, що може сприяти або заважати утворенню зв'язних електричних шляхів між наповнювачами, впливаючи таким чином на їх загальну провідність [2].

Полімерні матриці можуть впливати на термічну стабільність електропровідних композитних полімерів, впливаючи на їх електричні властивості при підвищених температурах. Визначили, що вибір полімерної матриці суттєво впливає на термічну стабільність композитів, і деякі матриці можуть забезпечити збереження електропровідності при підвищених температурах краще за інші.

Додавання пластифікаторів до полімерної матриці може впливати на електричну провідність композиту, змінюючи його гнучкість і мобільність ланцюгів. За допомогою пластифікаторів в полімерній матриці можна регулювати електричні характеристики композиту, адаптуючи його структурну гнучкість та динаміку молекулярних ланцюгів [3].

Дослідження, які фокусуються на вивченні порогу перколяції – мінімальної концентрації електропровідного наповнювача, при якій матеріал починає проявляти збільшену електропровідність [4]. Деякі дослідження зосереджувалися на тому, як полімерна матриця може впливати на механічні властивості електропровідних композитів, таких як міцність на розтяг, модуль пружності та в'язкість [5]. Полімерна матриця суттєво впливає на механічні властивості електропровідних композитів, визначаючи їх міцність, модуль пружності та в'язкість. Вибір відповідної матриці може оптимізувати ці характеристики в залежності від конкретного застосування.

Різні полімерні матриці впливають на діелектричну проникливість та діелектричні втрати композитних матеріалів. Вибір матриці може змінювати ці характеристики, оптимізуючи їх для конкретних застосувань в електроніці та електротехніці.

Досліджували можливість використання світлочутливих полімерних матриць для створення електропровідних шарів шляхом фотополімеризації [6]. Світлочутливі полімерні матриці демонструють потенціал для створення електропровідних шарів за допомогою фотополімеризації, що відкриває нові перспективи для дизайну та виробництва електронних пристроїв і матеріалів.

Використання блок-співполімерів як матриць для розподілу електропровідних наповнювачів, забезпечує кращий контроль над морфологією та електричними властивостями композитів [7].

Попередня хімічна обробка та модифікації поверхні наповнювачів впливає на їх адгезію до полімерної матриці, що може оптимізувати або погіршувати електропровідні властивості кінцевого композиту.

Також зовнішні умови, особливо температура та вологість, можуть суттєво впливати на електропровідність композитів, причому реакція на ці фактори відрізняється в залежності від використовуваної полімерної матриці [8].

Вибір полімерної матриці впливає на загальні механічні та електричні властивості композитного покриття. Різні полімери мають різну структуру, модуль пружності, температурну стійкість і хімічні властивості, які можуть впливати на ефективність електропровідності композиту [9].

Полімерні матриці можуть забезпечити ефективне з'єднання між наповнювачами, забезпечуючи краще розсіювання та інтерфейс між компонентами, що сприяє кращій електропровідності.

Модифікація полімерних матриць, шляхом функціоналізації або змішування різних полімерів, може вдосконалювати властивості композитних матеріалів. Наприклад, додавання певних хімічних груп до полімерної матриці може збільшити її адгезію до наповнювачів, підвищуючи електропровідність [10]. Додавання різних полімерних матриць може забезпечити поєднання властивостей обох матриць, що веде до отримання композитів з кращими характеристиками порівняно з композитами на основі одного полімеру.

Таким чином, дослідження впливу виду полімерної матриці та їх поєднання на електропровідні властивості композитних полімерних покриттів є актуальним завданням в напрямку створення електропровідних композитних покриттів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є створення електропровідних композитних полімерних покриттів з доступних полімерних матриць з максимальними електропровідними властивостями. Вивчення впливу різних полімерних матриць на електропровідні властивості композитів дозволить обрати полімерну матрицю яка буде відповідати вимогам для виготовлення гнучких полімерних нагрівачів.

**Вихідні матеріали та методи.** Для досліджень було використано електропровідні наповнювачі – колоїдний графітовий препарат марки С-0 (ТОВ «Завалівський графіт») та електропровідна сажа марки ХС 72 Cabot Corporation. Як полімерні матриці використовували

полівінілбутираль (ПВБ) марки SDW-3A, бакелітову смола (БС) (фенол формальдегідна смола резольного типу), нітроцелюлозу (НЦ) марки А-400, поліуретан (ПУ) марки Varnish primer P-OPP met gravure у вигляді 10% розчинів у ізопропіловому спирті. Як допоміжну речовину при отриманні покриттів застосовували ізопропіловий спирт технічний.

Виходячи з попередніх проведених досліджень було обрано композицію з 30% вмістом полімерної матриці та електропровідних наповнювачів – графіту 60% та сажі 10% [11]. Рецептний склад досліджуваних композицій наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Рецептурний склад досліджуваних полімерних композицій

№ композиції	Вміст компонентів, % мас.					
	Полімерна матриця				Наповнювач	
	ПВБ	БС	НЦ	ПУ	Графіт	Сажа ХС 72
1	30	-	-	-	60	10
2	25	5	-	-	60	10
3	20	10	-	-	60	10
4	-	30	-	-	60	10
5	-	-	30	-	60	10
6	-	-	-	30	60	10

Вибір видів полімерних матриць здійснювали, враховуючи їх широке застосування у промислових процесах та унікальні хімічні та фізичні властивості.

ПВБ було обрано через високий рівень хімічної стійкості та відмінну адгезію до поверхні субстрату, що визначає його потенціал як перспективну полімерну матрицю. НЦ обрана для дослідження через її здатність до ефективного нанесення на поверхню субстрату та ймовірного вмісту нітратних функціональних груп, які можуть суттєво впливати на характеристики покриття. ПУ був включений у дослідження завдяки його високій міцності та стійкості до зношування, а також через наявність кон'югованих функціональних груп, які можуть визначити його провідні властивості. БС була розглянута з урахуванням її теплоізоляційних характеристик та вогнестійкості.

Для приготування композицій було використано лабораторне устаткування – верхньопривідний змішувач марки ІКА RW20 (діаметр дисольверної мішалки – 50 мм).

Технологія отримання електропровідного полімерного покриття складається з кількох стадій. Спочатку проводилось змішування порошкоподібних наповнювачів з розчинниками на верхньопривідному змішувачі протягом 20 хв. Далі додавалась електропровідна сажа та графіт у вигляді попередньо приготованої пасти на тривалковій фарботерці марки Ехакт-50. Отриману суміш гомогенізували з використанням дисперсеру марки ФСХ-2А протягом 15 хв. Швидкість обертання мішалки – 1800 об/хв. Сухий залишок фарби становив 25%мас., що контролювали ваговим методом.

В'язкість фарби контролювали за віскозиметром типу «келих» з діаметром отвору 4мм за ISO 2431. В'язкість фарби підтримували в діапазоні 20–30 с шляхом введення розчинника.

Отриману однорідну суміш наносили на субстрат - плівку з поліетилентерефталату за допомогою роликкового аплікатору роблячи 5-7 проходів роликком та задаючи товщину 100 мкм. Нанесення покриття висушували протягом 24 год при температурі 25°C та відносній вологості 75%.

Вимірювання електричного опору здійснювали за 4-х електродною схемою – методом Кельвіна з використанням комірки марки JG та приладу марки RS pro міліомметр RM-804. Радіус електрода (r) вимірювальної комірки – 0,035 см. Відстань між електродами (L) – 0,2 см. Ширина електрода (W) – 0,07 см. Площа поперечного перерізу електрода (A) – 0,00385см<sup>2</sup>.

Питомий поверхневий електричний опір визначали за формулою [12]:

$$R_s = R \times \frac{L}{W}. \quad (1)$$

Питомий об'ємний електричний опір визначали за формулою [12]:

$$\rho = R \times \frac{L}{A}. \quad (2)$$

**Результати досліджень.** Отримані розчини полімерних матриць та розроблені композиції порівнювали за в'язкістю з використанням віскозиметру VEVOR марки NDJ-9S 10-600000000 мПа\*с при швидкості обертання 60 обертів за хвилину (табл. 2).

Таблиця 2

**Динамічна в'язкість 10% розчинів полімерних матриць та досліджуваних композицій**

№ п/п	Назва досліджуваного зразка	Динамічна в'язкість, $10^{-6}$ Па·с
1	ПВБ	97,2
2	БС	2,74
3	НЦ	29,2
4	ПУ	19,1
5	Композиція №1	203,0
6	Композиція №2	193,1
7	Композиція №3	182,4
8	Композиція №4	10,2
9	Композиція №5	78,6
10	Композиція №6	72,3

В'язкість полімерних розчинів відіграє ключову роль при розробці електропровідних фарб. Висока в'язкість може ускладнювати процес нанесення та вимагає застосування спеціального обладнання. Навпаки, низька в'язкість полегшує нанесення, але може вплинути на стійкість покриття. У більш в'язких системах тверді наповнювачі, такі як сажа або графіт, менше схильні до осадження, забезпечуючи тим самим більш рівномірний розподіл провідних частинок у розчині полімерної матриці. Під час нанесення цих в'язких систем, тверді частинки провідного матеріалу, такі як сажа або графіт, демонструють знижену тенденцію до агломерації, сприяючи оптимальному розподілу електропровідного наповнювача на поверхні субстрату, що покращує провідність електропровідних покриттів. Низька в'язкість рідини може сприяти більш швидкому розподілу і рівномірному нанесенню електропровідного покриття на поверхню субстрату. Це, в свою чергу, може забезпечити більш однорідне покриття без локальних дефектів чи нерівностей. Таке однорідне покриття може знизити внутрішній опір і, отже, забезпечити кращі електричні властивості. Швидке висихання може запобігти розсіюванню або руху частинок наповнювача в рідині, що додатково вдосконалює структуру покриття.

Вплив полімерної матриці на електропровідність композитних полімерних покриттів наведені в таблиці 3.

На підставі даних з таблиці 2 стає зрозумілим, що композиція №5, розроблена на базі НЦ, характеризується мінімальним питомим поверхневим електричним опором. Ця висока провідність у 2,4 рази перевищує показники композиції №1, створеної на основі ПВБ. Імовірно, така відмінність зумовлена присутністю нітро груп у НЦ та його здатністю швидко висихати завдяки низькій динамічній в'язкості.

Композиція №2 характеризується питомим поверхневим електричним опором, який у 1,4 рази нижчий в порівнянні з композицією №1. Це може бути обумовлено заміною 5% ПВБ

на БС. Ймовірно, інтеграція бакелітової смоли впливає на структуру ПВБ, змінює розподіл фаз і між фазні взаємодії. Такі зміни ймовірно можуть формувати нові електропровідні шляхи або сприяти більш ефективному руху зарядів крізь матеріал, що, у свою чергу, призводить до зниження опору.

Таблиця 3

**Питомий поверхневий та об'ємний електричний опір досліджуваних композицій**

№ композиції	Питомий об'ємний електричний опір, Ом•см	Питомий поверхневий електричний опір, Ом
1	429	24
2	323	18
3	447	25
4	718	40
5	182	10
6	373	21

Композиція №3 має питомий поверхневий електричний опір, який є не значно вищим в порівнянні з композицією №1, незважаючи на додавання 10% БС. Взаємодія між компонентами в композиції відіграє ключову роль. У малих дозах БС може сприяти поліпшенню властивостей матеріалу, проте при великому його вмісті можливий небажаний вплив на полімерну матрицю.

Композиція №4, на основі БС, має питомий поверхневий електричний опір, який у 1,7 рази вищий порівняно з іншими зразками. Композиція №6, на основі ПУ, має питомий поверхневий електричний опір, що майже 15% нижчий в порівнянні з композицією №1 на основі ПВБ. Встановлення причин такого впливу вказаних матриць потребує подальших досліджень.

Досліджені полімерні матриці для електропровідних композитних покриттів виявляють широкий спектр можливих застосувань, в залежності від їх унікальних електропровідних властивостей та фізичних характеристик.

Полімерна матриця ПВБ в поєднанні з електропровідним наповнювачем, з питомим поверхневим електричним опором 36,5 Ом, може бути застосована для електронних пристроїв, де акцент ставиться на якісну адгезію до різноманітних поверхонь та стабільність в різних умовах. Цей полімер не лише гарантує надійність та довговічність компонентів, але й сприяє покращенню їхніх механічних характеристик. ПВБ забезпечує стабільну електропровідність, що є критично важливим для ефективної роботи електронних систем.

Полімерна матриця БС в поєднанні з електропровідним наповнювачем, володіє найвищим питомим поверхневим електричним опором серед обраних полімерних матриць 62,1 Ом, зарекомендувала себе як важливий компонент у виробництві електротехнічних виробів. Її унікальні властивості, зокрема вогнестійкість та електрична ізоляція, роблять її незамінним у ситуаціях, де потрібна максимальна безпека та надійність. Такий високий електричний опір гарантує захист від теплових впливів та електричних розрядів, а також забезпечує стабільність роботи обладнання в різних умовах. Це особливо важливо для високонавантажених систем, де будь-який збій може призвести до критичних наслідків.

Полімерна матриця НЦ у поєднанні з електропровідним наповнювачем, маючи найнижчий питомий поверхневий електричний опір серед обраних композицій 15,35 Ом та можливість формувати тонкі плівки, є ефективним рішенням в області новітніх технологій. Вона активно використовується у виробництві сенсорів, дисплеїв, а також інших електронних компонентів. Висока електропровідність, поєднана з стійкістю до різних умов експлуатації, робить її відмінним вибором для електронних пристроїв, де якість, надійність та тривалий термін служби є вирішальними.

Полімерна матриця ПУ у поєднанні з електропровідним наповнювачем, має питомий поверхневий електричний опір 32,2 Ом, відзначається унікальною комбінацією міцності та еластичності. Цей матеріал може витримувати великі механічні навантаження та події знесення, стаючи оптимальним вибором там, де потрібно поєднати електропровідність з відмінною міцністю. Це зокрема актуально для розробки електропровідних покриттів у сфері побутової інженерії, де вимагається висока стійкість до механічних пошкоджень та агресивних зовнішніх факторів. Такий потенціал ПУ робить його цінним в сучасних технологічних рішеннях.

Також під час заміни частки полімерної матриці ПВБ на полімерну матрицю БС в співвідношенні 25% ПВБ до 5% БС і в поєднанні з електропровідним наповнювачем було отримано нижчий питомий поверхневий електричний опір, порівняно з немодифікованою полімерною матрицею ПВБ або БС у поєднанні з електропровідним наповнювачем. Це свідчить про високі якості модифікації різних полімерних матриць. Такі комбінації можуть формувати нові електропровідні мережі в композитних полімерах і поєднувати хімічні властивості обох полімерних матриць. Це може виявитися корисним при створенні гнучких нагрівальних елементів.

**Висновки.** Відповідно до отриманих результатів досліджень, найнижчий поверхневий та об'ємний електричний опір спостерігається у композитного покриття на основі нітроцелюлози, який становить відповідно 10 Ом та 182 Ом·см, що ймовірно пов'язано з наявністю у полімерної матриці високо полярних нітро груп.

Найвищий поверхневий та об'ємний електричний опір спостерігається при використанні полімерної матриці – бакелітова смола і становить відповідно 40 Ом та 718 Ом см. Для композитних покриттів з комбінованою полімерною матрицею на основі полівінілбутиралу та 5% бакелітової смоли спостерігається зниження питомого електричного опору в 1,3 рази порівняно з композицією на основі полівінілбутиралу, що дозволяє використовувати бакелітову смолу як модифікатор композиції. При підвищенні вмісту бакелітової смоли до 10% питомий електричний опір зростає на 4% в порівнянні з композитним покриттям на основі полівінілбутиралу.

Отже, вибір конкретної полімерної матриці для електропровідного композитного покриття визначається її специфічними властивостями. Крім електропровідності, важливими можуть бути такі аспекти як міцність, хімічна стійкість, вогнестійкість та інші особливості, відповідно до конкретних застосувань.

## References

1. Zhang, W., Dehghani-Sanij, A. A., & Blackburn, R. S. (2007). Carbon based conductive polymer composites. *Journal of materials science*, 42, 3408–3418. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-007-1688-5>.
2. Motlatle, A. M., Mofokeng, T. G., Scriba, M. R., Ojijo, V., Ray, S. S. (2021). The effect of electrically conducting carbon materials on the conductivity and morphology of poly (vinyl butyral) and chitosan blend composite for application in anti-corrosive coatings. *Synthetic Metals*, 281, 116914. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379677921002204>.
3. Mai, V. D., Nguyen, D. C. T., Vu, V. P., Lee, S. H. (2022). Fast healing conductive polymer composite based on carbon black and polyurethane containing disulfide bonds. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 28(1),

## Література

1. Zhang W., Dehghani-Sanij A. A., Blackburn R. S. Carbon based conductive polymer composites. *Journal of materials science*. 2007. 42. P. 3408–3418. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-007-1688-5>.
2. Motlatle A. M., Mofokeng T. G., Scriba M. R., Ojijo V., Ray S. S. The effect of electrically conducting carbon materials on the conductivity and morphology of poly (vinyl butyral) and chitosan blend composite for application in anti-corrosive coatings. *Synthetic Metals*. 2021. 281. 116914. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379677921002204>.
3. Mai V. D., Nguyen D. C. T., Vu V. P., Lee S. H. Fast healing conductive polymer composite based on carbon black and polyurethane containing disulfide bonds. *Journal of Vinyl and*

- 115–124. URL: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/vnl.21871>.
4. Mattar, H., Baz, Z., Saleh, A., Shalaby, A. S., Azzazy, A. E., Salah, H., Ismail, I. (2020). Nitrocellulose: Structure, synthesis, characterization, and applications. *Water Energy Food Environ. J.* 3, 1–15. URL: <https://www.naturalpublishing.com/files/published/xyw3c32z825c89.pdf>.
5. Crespy, D., Bozonnet, M., Meier, M. (2008). 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(18), 3322–3328.
6. Frąckowiak, S., Kozłowski, M. (2010). Polimerowe kompozyty elektroprowadzące jako materiały o potencjale sensorycznym. *Polimery*, 55(5), 390–398.
6. Kumar, N., Jain, P. K., Tandon, P., Pandey, P. M. (2018). Additive manufacturing of flexible electrically conductive polymer composites via CNC-assisted fused layer modeling process. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40, 1–13.
7. Tran, V. V., Lee, S., Lee, D., Le, T. H. (2022). Recent developments and implementations of conductive polymer-based flexible devices in sensing applications. *Polymers*, 14(18), 3730. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/18/3730>.
8. Liu, H., Li, Q., Zhang, S., Yin, R., Liu, X., He, Y., ... Guo, Z. (2018). Electrically conductive polymer composites for smart flexible strain sensors: a critical review. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(45), 12121–12141. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/tc/c8tc04079f/unauth>.
9. Lin, J. C., Liatsis, P., Alexandridis, P. (2023). Flexible and stretchable electrically conductive polymer materials for physical sensing applications. *Polymer Reviews*, 63(1), 67–126. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15583724.2022.2059673>.
10. Nyholm, L., Nyström, G., Mihranyan, A., Strømme, M. (2011). Toward flexible polymer and paper-based energy storage devices. *Advanced Materials*, 23(33), 3751–3769. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.201004134>.
11. Svistilnik, R. F., Fedoriv, T. R., Savchenko, B. M., Osaulenko, S. I. (2022). Rozrobka tekhnolohiyi elektrprovidnikh gibridnikh kompozitsiynykh pokryttiv [Development technology of electrically conductive hybrid composite coatings]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh* = *Additive Technology*. 2022. 28(1). P. 115–124. URL: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/vnl.21871>.
4. Mattar H., Baz Z., Saleh A., Shalaby A. S., Azzazy A. E., Salah H., Ismail I. Nitrocellulose: Structure, synthesis, characterization, and applications. *Water Energy Food Environ. J.* 2020. 3. P. 1–15. URL: <https://www.naturalpublishing.com/files/published/xyw3c32z825c89.pdf>.
5. Crespy D., Bozonnet M., Meier M. 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses. *Angewandte Chemie International Edition*. 2008. 47(18). P. 3322–3328.
6. Frąckowiak S., Kozłowski M. Polimerowe kompozyty elektroprowadzące jako materiały o potencjale sensorycznym. *Polimery*. 2010. 55(5). P. 390–398.
6. Kumar N., Jain P. K., Tandon P., Pandey P. M. Additive manufacturing of flexible electrically conductive polymer composites via CNC-assisted fused layer modeling process. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2018. 40. P. 1–13.
7. Tran V. V., Lee S., Lee D., Le T. H. Recent developments and implementations of conductive polymer-based flexible devices in sensing applications. *Polymers*. 2022. 14(18), 3730. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/18/3730>.
8. Liu H., Li Q., Zhang S., Yin R., Liu X., He Y. ... Guo Z. Electrically conductive polymer composites for smart flexible strain sensors: a critical review. *Journal of Materials Chemistry C*. 2018. 6(45). P. 12121–12141. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/tc/c8tc04079f/unauth>.
9. Lin J. C., Liatsis P., Alexandridis P. Flexible and stretchable electrically conductive polymer materials for physical sensing applications. *Polymer Reviews*. 2023. 63(1). P. 67–126. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15583724.2022.2059673>.
10. Nyholm L., Nyström G., Mihranyan A., Strømme M. Toward flexible polymer and paper-based energy storage devices. *Advanced Materials*. 2011. 23(33). P. 3751–3769. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.201004134>.
11. Свістільнік Р. Ф., Федорів Т. Р., Савченко Б. М., Осауленко С. І. Розробка технології електропровідних гібридних композиційних покриттів. *Технології та інжиніринг*. 2022.

- Technologies and Engineering, 4(9), 60–70. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/20047> [in Ukrainian].
12. Gutiérrez, M. P., Li, H., Patton, J. (2002). Thin film surface resistivity. *Mate 210 Experimental Methods in Materials Engineering*. 25 p.
- № 4(9). С. 60–70. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/20047>.
12. Gutiérrez M. P., Li H., Patton J. Thin film surface resistivity. *Mate 210 Experimental Methods in Materials Engineering*. 2002. 25 p.

**SVISTSILNIK ROMAN**

Postgraduate student,  
Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [romchigo@gmail.com](mailto:romchigo@gmail.com)

**FEDORIV TARAS**

Postgraduate student,  
Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [tfedoriv04@gmail.com](mailto:tfedoriv04@gmail.com)

**SVISTSILNIK R. F., FEDORIV T. R.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**INFLUENCE OF POLYMER MATRICES ON THE ELECTRICAL PROPERTIES  
OF COMPOSITE COATINGS**

**Purpose.** This study aims to determine how the polymer matrix affects the electrical properties of composite coatings containing conductive carbon filler.

**Methodology.** The specific surface and volumetric electrical resistivity of the coatings were measured using a four-electrode cell and the Kelvin method. The dynamic viscosity of the polymer matrix solution was assessed with a VEVOR NDJ-9S rotational viscometer. The dry residue of the composite coating solution was determined by the weight method.

**Findings.** The study reveals the significant impact of polymer matrices on the electrical properties of composite polymer coatings. Notably, coatings based on nitrocellulose (NC) exhibit the lowest surface and bulk electrical resistance, likely due to the highly polar nitro groups in the NC matrix. Conversely, coatings with a Bakelite resin (BR) matrix show the highest resistance. For coatings combining a polyvinyl butyral (PVB) matrix with 5% and 10% Bakelite resin (BS), lower resistance is observed at 5% BS, with an increase in resistance at 10% BS, compared to coatings solely based on PVB. The selection of a suitable polymer matrix for electrically conductive composite coatings depends on specific properties like strength, chemical resistance, and fire resistance.

**Originality.** This research uniquely identifies the impact of different polymer matrices on the electrical resistivity of composite coatings

**Practical value.** The findings will aid in selecting the appropriate polymer matrix for flexible heating elements, tailored to their specific applications.

**Keywords:** polyvinyl butyral (PVB); nitrocellulose (NC); polyurethane (PU); Bakelite resin (BR); conductive filler; conductive coatings; carbon black; graphite.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.11>

УДК 621.311:  
615.1:378

ТАРАСЕНКО Г. В., ЗМІЄВСЬКА І. С., САЛІЙ О. О., ПОПОВА М. Е.  
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

**Мета.** Проведення аналізу сучасних технологій виробництва лікарських засобів та обґрунтування практичних заходів щодо використання енергоефективних технологій з метою оптимізації та мінімізації споживання енергії при збереженні та гарантії якості готової продукції.

**Методика.** Аналітичний огляд наукової, науково-практичної та статистично-аналітичної літератури з метою систематизації та оптимізації даних, які можуть бути застосовані для енергозбереження на підприємствах фармацевтичної галузі.

**Результати.** Досліджено структури енергоспоживання фармацевтичної промисловості та проаналізовано шляхи оптимізації енергоефективності виробництва лікарських засобів, які можна впроваджувати як на рівнях окремих стадій, операцій, процесів, систем, так і для підприємства в цілому. Проведено системний аналіз технологій та технологічних процесів виробництва, запропоновано шляхи їх оптимізації для мінімізації споживання енергії та підвищення енергоефективності при збереженні якості готової продукції та підвищення конкурентоспроможності її на ринку.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано теоретичні аспекти заходів з енергозбереження фармацевтичних виробництв, запропоновано шляхи оптимізації щодо підвищення їх енергоефективності, інтенсифікації процесів виробництва, оптимізації проектування та контролю виробничих процесів і технологічних систем для досягнення кумулятивного ефекту заощадження енергетичних ресурсів.

**Практична значимість.** Визначення заходів з підвищення енергоефективності виробництв фармацевтичної галузі дозволить зменшити споживання енергії під час виробництва, запровадити заходи постійного моніторингу та контролю споживаної енергії з метою забезпечення безперервності виробничих процесів та уникнення скорочення обсягів виробництва лікарських засобів через перебої в енергопостачанні.

**Ключові слова:** енергозберігаючі технології; енергетичний менеджмент; лікарський засіб; фармацевтичне виробництво.

**Вступ.** Підтримка стабільності роботи вітчизняних фармацевтичних виробників є реальним пріоритетом для створення сприятливих умов та стимулювання економічного розвитку держави, що дозволяє гарантувати залучення інвестицій у діяльність виробництв лікарських засобів, збільшити кількість робочих місць, уникнути колапсу у забезпеченні медичної системи ліками. Незалежність країни, її національна безпека складається з багатьох чинників, серед яких є й фармацевтична незалежність, оскільки фармацевтичне виробництво здатне гарантувати її, забезпечуючи як армію, так і населення значною частиною необхідних ліків. Інституційна підтримка фармацевтичного виробництва не потребує прямих дотацій оскільки фармацевтична галузь є повністю самодостатньою і займає 4,1% ВВП переробної промисловості. Лікарські засоби вітчизняного виробництва експортуються до багатьох країнах світу, і за останні 5 років їх експорт збільшився на 64%. Вже сьогодні українські підприємства, за даними дослідницької компанії Proxima Research, займають значну частину фармацевтичного ринку в споживанні – 65% та виготовляють 61% ліків з Національного переліку лікарських засобів. Два з трьох лідерів ринку з продажу фармацевтичних препаратів – саме українські компанії. В Україні 113 заводів з виробництва лікарських засобів, більшість з них оснащені на високому світовому рівні, не тільки не поступаючись, а й перевершуючи технологічно конкурентів з європейських країн.

Оскільки фармацевтичні компанії стикаються зі зростаючою конкуренцією, вони шукають можливості знизити витрати виробництва без негативного впливу на виробництво

або якість готової продукції. Нестабільність цін на енергоносії негативно впливає на фінансові результати. Проблему підтримки високої якості продукції при одночасному зниженні витрат на виробництво можна вирішити шляхом інвестицій в енергоефективні технології та програми енергоефективності. Енергоефективні технології можуть мати додаткові переваги, такі як покращення якості, збільшення виробництва та підвищення ефективності процесу, що може призвести до подальшого підвищення продуктивності. Енергоефективність також є важливою складовою екологічної стратегії компанії, оскільки підвищення енергоефективності може призвести до скорочення викидів забруднюючих речовин [1].

**Постановка завдання.** З точки зору енергетики, фармацевтична промисловість щорічно споживає енергію на мільярди доларів. Підвищення енергоефективності виробництва лікарських засобів є важливим способом зниження витрат і збільшення передбачуваних прибутків, особливо в часи високої нестабільності цін на енергоносії. Одним із шляхів вирішення проблеми є істотне зменшення енергоємності виробництва за рахунок застосування новітніх технологій і обладнання, сучасних стандартів, ефективних систем контролю, керівництва та обліку використання продуктів енергетики, механізмів стимулювання збереження енергії. Заходи з підвищення енергоефективності та енергозбереження мають бути спрямовані на удосконалення енергетичних характеристик виробництва, забезпечення постачання різних типів енергії, оптимізації управління та контролю енергоспоживання.

**Результати досліджень.** Глобальне споживання енергії різко зросло за останні роки і, за прогнозами, продовжуватиме зростати. Очікується, що до 2050 року споживання відновлюваної енергії зросте і досягне приблизно 247 ЕДж (ексаджоулів). Для порівняння, загальне споживання енергії з відновлюваних джерел у 2000 році становило 42 ексаджоулі [2].

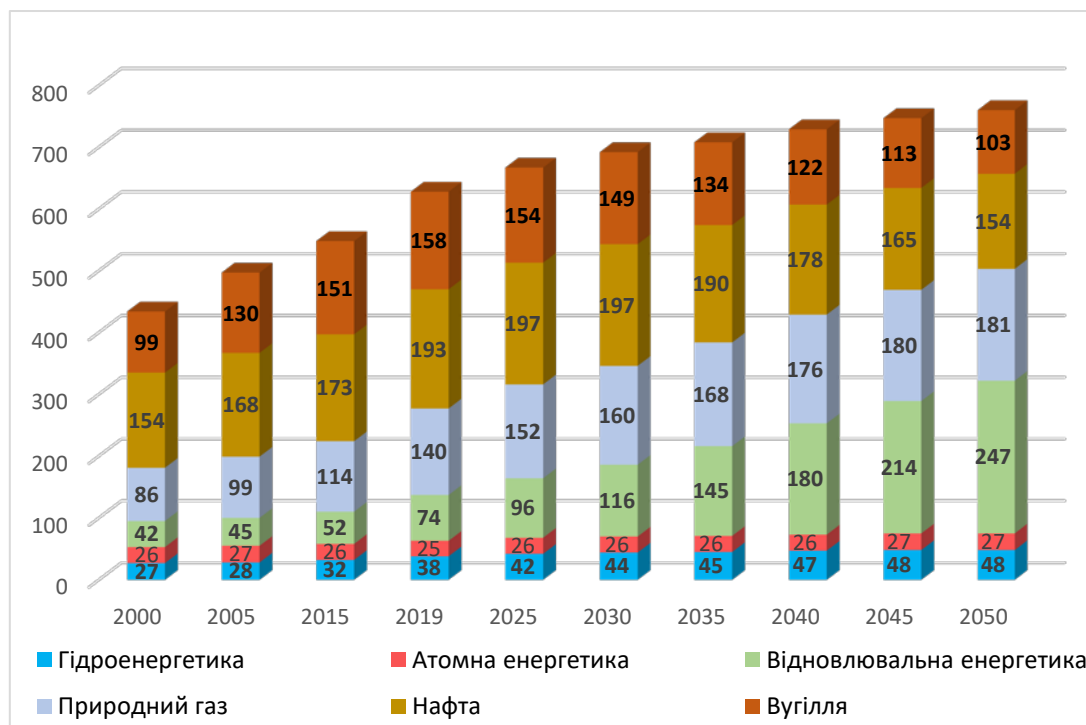


Рис. 1. Споживання енергії в усьому світі з 2000 по 2019 рік, з прогнозом до 2050 року, за джерелами енергії (в ЕДж)

Загалом світове споживання первинної енергії зросло за останнє десятиліття, але очікується, що найбільше зростання воно спостерігатиметься в країнах з економікою, що розвивається, наприклад у країнах БРІКС – Бразилії, Росії, Індії та Китаї. Первинна енергія – це енергія природних ресурсів – нафта, природний газ та вугілля, до їх подальшої переробки.

Наприклад, нафту перероблюють у вторинне паливо – бензин або дизельне паливо, тоді як вітер використовують для отримання електроенергії, що є вже вторинним джерелом енергії. Загальне постачання первинної енергії до країни є показником первинних джерел енергії в країні. Водночас енергія кінцевого споживання – це енергія, яка безпосередньо використовується споживачем, і включає вугілля, природний газ, а також вторинні джерела, такі як електроенергія, бензин та ін. Розподіл споживання енергії в усьому світі є непропорційно різним серед певних країн. Відновлювана енергія включає сонячну енергію, енергію вітру, гідроелектроенергію, біомасу та геотермальну енергію. За останні 20 років споживання відновлюваної енергії різко зросло. Останні дані показують, що відновлювана енергетика зростає як частка споживання первинної енергії в усьому світі. Розподіл ТОП-20 країн світу за споживанням первинної енергії в усьому світі у 2022 році наведено на рис. 2. Як видно з рис. 2 – Китай є найбільшим споживачем первинної енергії у світі, використовуючи приблизно 159,39 ЕДж (33%), що є більшим, ніж споживають у США (95,91 ЕДж, 20%), які посідають друге місце [3].

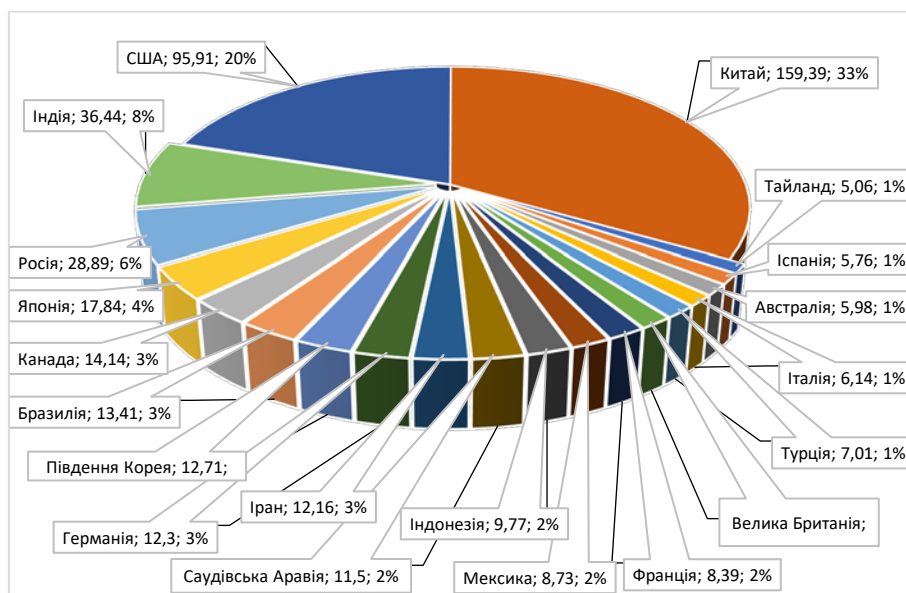


Рис. 2. Розподіл споживання первинної енергії в усьому світі у 2022 році за країнами

Зараз Україна, як і країни Європи, стикається з високою нестабільністю щодо постачання енергії та цін на енергоносії, і ця проблема може спостерігатися ще й в найближчі роки. Лише у 2022 році середня вартість виробництва електроенергії в Європейському Союзі зросла на понад 40%. Крім того, Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) заявляє, що зараз вони перебувають в «періоді надзвичайної турбулентності на енергетичних ринках, особливо природного газу» [4].

Фармацевтичний сектор ще не досяг свого рівня критичності; однак збільшення вартості енергоносіїв на 15-20% може призвести на підвищення вартості ліків як для пацієнтів, так і для системи охорони здоров'я, навіть в умовах державного регулювання цін на лікарські засоби. У деяких випадках переривання виробництва в умовах нестабільного постачання енергоносіїв також є ризиком, тому більшість фармацевтичних компаній вимушені переглядати свої плани щодо забезпечення безперервності процесу виробництва з урахуванням застосування додаткових альтернативних джерел енергії (вітер, сонце тощо), застосування резервного обладнання, такого як генератори для виробництва електроенергії під час її відсутності або дефіциту.

За даними [5] енергоспоживання великих фармацевтичних компаній, таких як Sanofi, GlaxoSmithKline або Johnson & Johnson, перевищує 3 ТВт·год./рік (зі співвідношенням 0,7–1,0 кВт·год на 10 доларів США від продажів у середньому). Аналіз витрат на енергоносії серед 6 лідерів світових фармацевтичних компаній є досить складним для порівняння через різні рівні аутсорсингу виробництва та різні асортименти виготовляємої продукції (рис. 3).

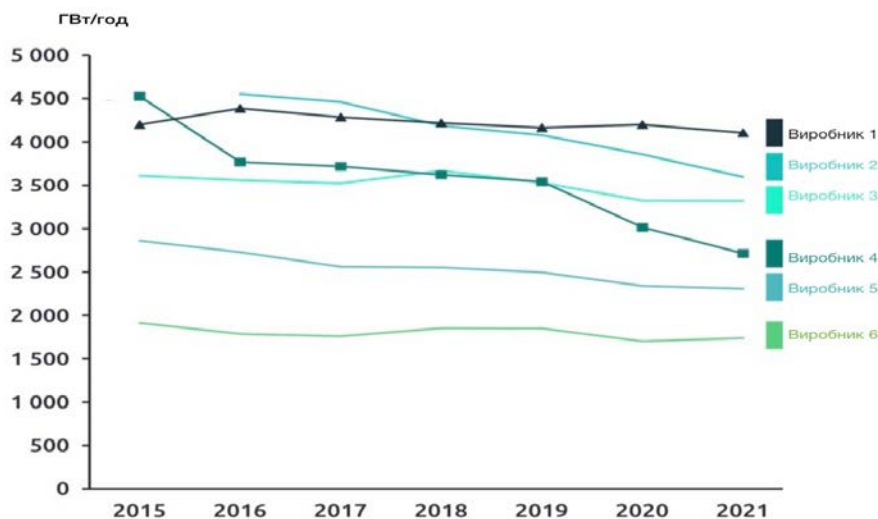


Рис. 3. Енергоспоживання та енергоємність шести основних світових фармацевтичних компаній

Фармацевтичні фірми стикаються з необхідністю підтримувати безпечні умови навколишнього середовища, а також зменшувати споживання енергії та витрати на експлуатацію підприємства. Регуляторні органи та асоційовані організації по всьому світу вимагають усе більш суворих стандартів. Ключова вимога полягає в тому, щоб мати повний облік усіх даних щодо умов навколишнього середовища, процесів і параметрів розробки та виробництва ліків. Ці дані мають важливе значення для фармацевтичних фірм, щоб продемонструвати якість продукції та підтримання належного виробничого процесу [6].

Впровадження в Україні належної виробничої практики GMP та сучасних виробничих технологій в умовах обмежених паливно-енергетичних ресурсів та зростання цін на енергоносії потребує від підприємств вітчизняної фармацевтичної галузі пошуку ефективних заходів зменшення енергоспоживання [7].

Ще однією з проблем, з якою стикнулися вітчизняні фармацевтичні виробники в умовах військового стану 2022 року, стало відключення електроенергії та перебої в електропостачанні. Пристосовуючись до нових реалій, компанії намагалися балансувати на межі можливого. Через блекаути підприємства вимушені були перебудувати свою роботу: деякі виробничі процеси перенести на нічну зміну та вихідні, а для зниження піків споживання на окремих ділянках встановити графік послідовної роботи. Коментуючи роботу компанії в умовах воєнного часу виконавчий директор фармацевтичної компанії АТ "Фармак" (м. Київ) Володимир Костюк зазначив, що «виробничі процеси дуже страждають від перебоїв електропостачання та відключень. При зупинці понад 30 хвилин продукція чи сировина може бути забракована та знищена, а повторна підготовка приміщень та обладнання у такому разі триває понад вісім годин. Це призводить до зриву виробничих планів, суттєвих фінансових втрат та можливого дефіциту в аптеках життєво необхідних для населення препаратів. Від екстрених відключень та нестабільної напруги виходять з ладу елементи виробничого обладнання, вартість яких – десятки тисяч євро, а терміни постачання нових компонентів – два-три місяці і навіть більше. Інвестиції "Фармака" в обладнання в період блекаутів вже

перевищили позначку 50 млн. грн.». Директор з корпоративних комунікацій ПрАТ "Фармацевтична фірма "Дарниця" (м. Київ) Василь Губарець аналізуючи вплив війни на роботу фармкомпанії зазначив, що в режимі економії електроенергії "Дарниця" вимикала зовнішнє освітлення території та офісу/заводу, посилила контроль за режимом роботи обладнання та запровадила концепт "Економний офіс" [8].

Щоб відповідати нормам і виготовляти якісну готову продукцію, фармацевтичне виробництво у відповідності до вимогам GMP потребує постійного, жорсткого контролю та моніторингу якості повітря, температури та вологості на кожному етапі процесу. Загалом витрати на підготовку повітря, опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря (HVAC) загалом складають більше 50% від загального споживання енергії. Незалежно від того, чи йдеться про синтез активних фармацевтичних інгредієнтів, чи про розробку та виробництво ліків усі етапи є енергоємними процесами [9]. Розподіл енергоспоживання фармацевтичної компанії наведено на рис. 4. Як видно з рис. 4 більше двох третин енергії, що використовується в будівлях, витрачається для опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря, а решта необхідна для роботи обладнання та машин.

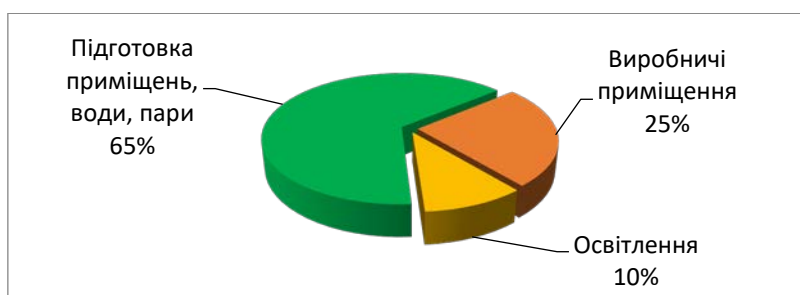


Рис. 4. Розподіл енергоспоживання фармацевтичної компанії

Отже, програма енергоефективності повинна охоплювати як рівні компонентів, процесів, систем, так і підприємства в цілому, тому виділяють індивідуальні енергозберігаючі заходи (для одного елементу), групові (для групи елементів), загальноцехові чи загальновиробничі (комплекс заходів в межах цеху або структурної одиниці чи в цілому виробництва). Термін окупності заходів може складати 1–3 роки (короткостроковий), 4–5 років (середньостроковий), понад п'ять років (довгостроковий) [10].

До ключових факторів, що впливають на енергоспоживання фармацевтичного підприємства, належать тип підприємства (наприклад, відділ дослідження та розробка чи серійне виробництво), вид продукції (лікарські форми), розташування та ефективність основних систем підприємства.

На думку акторів [11] найкращого результату енергоефективності можна досягнути завдяки впровадженню заходів зі значними капітальними витратами. Але поряд з ними необхідно розглядати й мало витратні, або безвитратні шляхи енергозбереження, які мають перспективу та значний потенціал і при цьому потребують тільки структурних організаційних змін в управлінні фармацевтичним виробництвом.

Розподіл енергетичних витрат за сферами діяльності фармацевтичного виробництва наведено в таблиці 1.

Ступінь впровадження енергоефективних заходів залежить від виробництва та кінцевого продукту; постійна оцінка цих заходів допоможе визначити економію коштів у поточних програмах енергозбереження.

Так, енергоефективність будівлі краще прораховувати під час проектування. А встановлення мікропроцесорних засобів керування на системах опалення, вентиляції та кондиціонування дозволить програмувати мікроклімат приміщення на основі зовнішньої

температури, що призведе до зниження на 10% загального споживання теплової енергії. Подальше підвищення енергоефективності можна досягнути завдяки встановленню фільтрів рекуперації тепла на виходах повітря системи, що призведе до очікуваної економії енергії приблизно на 3% на кожен градус. Завдяки оптимізації повітряного потоку можна зменшити навантаження на вентиляційні установки будівлі, що гарантуватиме зменшення споживання ресурсів.

Таблиця 1

**Розподіл енергетичних витрат фармацевтичного виробництва за сферами діяльності**

Сфери діяльності	Споживання енергії, %	Обладнання та процеси	Освітлення	Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря
Науково-дослідні роботи (R&D)	30	Мікроскопи; Центрифуги; Електричні міксери та шейкери; Аналітичне обладнання; Стерилізаційні процеси; Холодильники; Підтримання температурних режимів	Робоче та верхнє освітлення	Вентиляція чистих приміщень і витяжних шаф; Зони постійного мікроклімату; Охолоджена вода; Гаряча вода і пара
Офісні приміщення	10	Офісне обладнання; Комп'ютери; Копіювальні машини; Принтери; Підігрів води	Робоче, верхнє та зовнішнє освітлення	Опалення приміщення; Охолодження; Вентиляція
Серійне виробництво	35	Центрифуги; Стерилізаційні процеси; Сушарки; Сепараційні процеси	Робоче та верхнє освітлення	Вентиляція чистих приміщень і витяжних шаф; Зони постійного мікроклімату; Охолоджена вода; Гаряча вода і пара
Рецептура, наповнення та пакування	15	Електричні двигуни; Змішувачі	Переважно накладні витрати; Окремі завдання	Вентиляція з контролем вмісту часток
Складські приміщення	5	Електроприлади; Підігрів води	Верхнє освітлення	Опалення приміщення; Охолодження
Інше	5		Верхнє освітлення	
Разом, %	100	25	10	65

Також ефективним буде: здійснення утеплення будівель для холодного клімату чи використання світловідбиваючого покриття на даху для теплого клімату; встановлення вікон з низьким рівнем випромінювання; використання системи сонячного опалення тощо.

ТОВ "Фармацевтична компанія "Здоров'я" (м. Харків, Україна) застосувала в своїх приміщеннях енергоефективну систему опалення українського виробництва – кліматичні

панелі EFFI вітчизняного виробництва. Водяні інфрачервоні стельові кліматичні панелі EFFI працюють за принципом прямого нагріву приміщень, минаючи стадію нагріву всього об'єму повітря. Це дозволяє підтримувати в приміщенні комфортну відчутну температуру, знизивши температуру повітря. Такий принцип роботи дозволяє досягти показників економії на енергоресурсах до 50%.

В чистих приміщеннях енергія, яка необхідна для роботи, розподіляється наступним чином: 56% – для охолодження, 36% – для опалення, 5% – для вентиляторів і 3% – для насосів [12]. Енергозберігаючі заходи повинні включати: оптимізацію швидкості обміну рециркуляційного повітря; покращення якості й ефективності фільтрації повітря; встановлення фільтрів з низьким перепадом тиску; оптимізацію системи охолодженої води; зменшення об'єму потоку витяжного повітря; рекуперацію тепла у витяжних системах чистих приміщень. Іноді простим заходом ефективності є декласифікація приміщень із вищого класу чистоти до нижчого за умови, що даний клас усе ще відповідає виробничим вимогам щодо контролю забруднення та швидкості обміну повітря.

Розглядаючи питання підвищення енергоефективності двигунів, важливо використовувати системний підхід, який спрямований на оптимізацію енергоефективності всіх систем двигуна, тобто двигунів, приводів, керованого обладнання, такого як насоси, вентилятори та компресори, а також засобів керування. Програма енергоефективності починається з вибору енергоефективних двигунів правильного розміру і включає їх правильне встановлення, профілактичне та технічне обслуговування, моніторинг зносу, аналіз вібрації, тиску струму, корекцію коефіцієнта потужності, мінімізацію дисбалансу напруги тощо.

Вибір правильного насоса часто економить як експлуатаційні, так і капітальні витрати. Моніторинг у поєднанні з належною програмою технічного обслуговування можна використовувати для виявлення проблем і визначення рішень для створення більш ефективної насосної системи.

Стиснене повітря загалом є одним із найбільш неефективних видів використання енергії в фармацевтичній промисловості через низьку ефективність системи. Економія енергії за рахунок удосконалення системи стисненого повітря може становити від 20% до 50% загального споживання електроенергії системою. Крім того, багато заходів, які застосовуються для двигунів, також можна використовувати до компресорів, щоб зменшити їх споживання енергії. Керування навантаженням та переналаштування для більш ефективної роботи без придбання додаткових компресорів, належне технічне обслуговування фільтрів, двигунів, вентиляторів і водяних насосів, мінімізація витоків стисненого повітря і перепадів тиску призводить до значного збереження енергії.

Охолодження є важливими процесами у фармацевтичній промисловості, які використовуються в багатьох цілях. Енергозбереження в холодильних системах стосується компонентів, процесів і систем. Заходи з енергоефективності включають зниження тиску в конденсаторі, правильний вибір і послідовність компресорів, оптимізацію ізоляції та усунення несуттєвих теплових навантажень всередині установки. Запровадження автоматичного моніторингу холодильних систем може допомогти енергоменеджерам та інженерам об'єктів відстежувати споживання енергії, діагностувати низьку продуктивність, оптимізувати продуктивність системи та визначати проблемні зони до того, як знадобиться капітальний ремонт. Контроль заправки холодоагенту, оптимізація параметрів конденсатора та випарника, контроль фільтрів лінії всмоктування, утилізація відпрацьованого тепла, зниження тиску в системі – заходи, необхідні для досягнення енергозбереження в холодильних системах.

Котли та системи розподілу пари спричиняють значні втрати енергії на багатьох фармацевтичних об'єктах і вимагають наступних заходів: покращення контролю процесу, зменшення втрат тепла, покращення рекуперації тепла, зниження обсягів димових газів, зменшення надлишків повітря, покращення ізоляції котла та розподільної системи,

рекуперації тепла димових газів, удосконалення конденсаторівідвідника, належного обслуговування.

Витрати на енергію, яка використовується для освітлення у фармацевтичній промисловості, зазвичай незначні [13]. Тим не менш, можна знайти можливості для зниження обсягів її використання: замінити всі світильники на енергоефективні лампи або люмінесцентні високої інтенсивності, встановити датчики руху й програмовану систему керування освітленням. Також можна використовувати вікна подвійної висоти, щоб пропускати більше денного світла в приміщення лабораторій, заохочувати персонал вимикати світло та обладнання.

Для таких галузей, як фармацевтичне виробництво, які потребують технологічного тепла, пари та електроенергії, використання систем комбінованого виробництва тепла та електроенергії може заощадити енергію та зменшити забруднення. Когенераційні установки значно ефективніші, ніж стандартні електростанції або генератори, оскільки вони використовують відпрацьоване тепло.

**Висновки.** Витрати на виробництво та реалізацію фармацевтичної продукції продовжуватимуть зростати разом із постійним зростанням вартості енергії. Для підвищення енергоефективності виробництва лікарських засобів потрібно детально оцінювати всі стадії фармацевтичного виробництва та запроваджувати заходи, що дозволяють досягти зменшення енергоспоживання. Очікувана економія енергії та пов'язаних з енергією витрат може бути відносно невеликою, але кумулятивний ефект від заходів для всього підприємства потенційно може бути значним. Отже, для всіх заходів з енергоефективності необхідно проводити подальші дослідження економічної вигоди, з урахуванням належних виробничих практик, щоб оцінити доцільність їх впровадження. Зміна способу управління енергією в організації може підвищити ефективність процесів, якість продукції, продуктивність і досягти економії витрат до 30%. Після досягнення оптимальної енергоефективності фармацевтичним виробникам слід оцінити та розглянути можливості впровадження відновлюваних джерел енергії для подальшого зниження витрат.

## References

## Література

1. Shamkishore, L., Manmadha Reddy, K., Pathy, A. (2011). Energy Conservation in Pharmaceutical Manufacturing. *Pharmaceutical Technology Sourcing and Management*, Vol. 7, Issue 11. URL: <https://www.pharmtech.com/view/energy-conservation-pharmaceutical-manufacturing>.
2. Energy consumption worldwide from 2000 to 2019, with a forecast until 2050, by energy source. <https://www.statista.com>. URL: <https://www.statista.com/statistics/222066/projected-global-energy-consumption-by-source/>
3. Primary energy consumption worldwide in 2022, by country. <https://www.statista.com>. URL: <https://www.statista.com/statistics/263455/primary-energy-consumption-of-selected-countries/>
4. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2022). World Energy Outlook 2022. November 2022. <https://www.iea.org>. URL: <https://www.iea.org/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>.

5. IPSEN (2021). Ipsen Pledges Ambitious Action on Climate Change, October 2021. URL: <https://ansm.sante.fr/page/comite-dinterface-avec-les-representants-des-industries-du-medicament>.
6. Serrano Basterra, M. (2019). How Innovative Power Monitoring Is Driving Pharmaceutical Manufacturing Efficiencies. URL: <https://blog.se.com/industry/food-and-beverage/2019/10/29/how-innovative-power-monitoring-is-driving-pharmaceutical-manufacturing-efficiencies/>
7. Leontyuk, I. I., Kuzmina, H. I., Tarasenko, H. V., Strokan, A. P., Bessarabov, V. I. (2014). Energozberezhennya na farmatsevtichnomu vyrobnytstvi [Energy saving in pharmaceutical production]. *Visnyk KNUTD = Bulletin of KNUTD*, No. 5 (79), P. 48–52 [in Ukrainian].
8. Ahenstvo "Interfaks-Ukrayina" [Interfax-Ukraine News Agency]. URL: <https://interfax.com.ua/news/pharmacy/888686.html>.
9. WORLD ECONOMIC FORUM (2023). The "No-Excuse" Framework to Accelerate the Path to Net-Zero Manufacturing and Value Chains January 2023. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Industry\\_Net\\_Zero\\_Accelerator\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Industry_Net_Zero_Accelerator_2023.pdf).
10. Dzhedzhula, V. V. (2014). Energozberezhennya promyslovykh pidpryyemstv: metodolohiya formuvannya, mekhanizm upravlinnya: monohrafiya [Energy saving of industrial enterprises: formation methodology, management mechanism: monograph]. Vynnytsya: VNTU. 346 p. [in Ukrainian].
11. Dzhedzhula, V. V. (2014). Napryamky orhanizatsiynoho ta malovytratnoho energozberezhennya mashynobudivnykh pidpryyemstv [Directions of organizational and low-cost energy saving of machine-building enterprises]. *Problemy ekonomiky = Problems of the economy*, No. 1, P. 230–235 [in Ukrainian].
12. Galitsky, Ch., Chang, S., Worrell, E., Masane, E. (2008). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry. California: University of California. 100 p.
13. Causeway Energies (2023). Energy Use in the Pharmaceutical Industry: Attaining Net Zero. URL: <https://causewaygt.com/2023/08/energy-use-in-the-pharmaceutical-industry-attaining-net-zero/>
5. Ipsen Pledges Ambitious Action on Climate Change. *IPSEN*, October 2021. URL: <https://ansm.sante.fr/page/comite-dinterface-avec-les-representants-des-industries-du-medicament>.
6. Serrano Basterra M. How Innovative Power Monitoring Is Driving Pharmaceutical Manufacturing Efficiencies. 2019. URL: <https://blog.se.com/industry/food-and-beverage/2019/10/29/how-innovative-power-monitoring-is-driving-pharmaceutical-manufacturing-efficiencies/>
7. Леонтьук І. І., Кузьміна Г. І., Тарасенко Г. В., Строкань А. П., Бессарабов В. І. Енергозбереження на фармацевтичному виробництві. *Вісник КНУТД*. 2014. № 5 (79). С. 48–52.
8. Агентство "Інтерфакс-Україна". URL: <https://interfax.com.ua/news/pharmacy/888686.html>.
9. The "No-Excuse" Framework to Accelerate the Path to Net-Zero Manufacturing and Value Chains. WORLD ECONOMIC FORUM, January 2023. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Industry\\_Net\\_Zero\\_Accelerator\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Industry_Net_Zero_Accelerator_2023.pdf).
10. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 346 с.
11. Джеджула В. В. Напрямки організаційного та маловитратного енергозбереження машинобудівних підприємств. *Проблеми економіки*. 2014. № 1. С. 230–235.
12. Galitsky Ch., Chang S., Worrell E., Masane E. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry. California: University of California, 2008. 100 p.
13. Energy Use in the Pharmaceutical Industry: Attaining Net Zero. *Causeway Energies*. 2023. URL: <https://causewaygt.com/2023/08/energy-use-in-the-pharmaceutical-industry-attaining-net-zero/>

**TARASENKO HANNA**

Candidate of Technical Science, Associate Professor,  
Department of Industrial Pharmacy  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0995-7322>  
Scopus Author ID: 58032095000  
ResearcherID: JHT-0528-2023  
E-mail: [tarasenko.gv@knuud.com.ua](mailto:tarasenko.gv@knuud.com.ua)

**SALIY OLENA**

Candidate of Pharmacy, Associate Professor,  
Department of Industrial Pharmacy  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7103-2083>  
Scopus Author ID: 57219560195  
ResearchGateID: AAC-5721-2019  
E-mail: [saliy.oo@knuud.edu.ua](mailto:saliy.oo@knuud.edu.ua)

**ZMIEVSKA INESA**

Master's student  
Department of Industrial Pharmacy  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
E-mail: [zmievskaainesa@gmail.com](mailto:zmievskaainesa@gmail.com)

**POPOVA MARIIA**

Postgraduate student,  
Department of Industrial Pharmacy  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2579-0331>  
E-mail: [riia@ukr.net](mailto:riia@ukr.net)

**TARASENKO H. V., ZMIEVSKA I. S., SALIY O. O., POPOVA M. E.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES  
OF PRODUCTION OF MEDICINAL PRODUCTS**

**Purpose.** Conducting an analysis of modern pharmaceutical production technologies and substantiating practical measures regarding the use of energy-efficient technologies in order to optimize and minimize energy consumption while preserving and guaranteeing the quality of finished products.

**Methodology.** Analytical review of scientific, scientific-practical and statistical-analytical literature for the purpose of systematization and optimization of data that can be used for energy saving at enterprises of the pharmaceutical industry.

**Findings.** The structure of energy consumption of the pharmaceutical industry was studied and ways of optimizing the energy efficiency of drug production were analyzed, which can be implemented both at the levels of individual stages, operations, processes, systems, and for the enterprise as a whole. A systematic analysis of production technologies and technological processes was carried out, ways of their optimization were proposed to minimize energy consumption and increase energy efficiency while maintaining the quality of finished products and increasing their competitiveness on the market.

**Originality.** The theoretical aspects of energy-saving measures of pharmaceutical production are substantiated, ways of optimization and improvement of their energy efficiency, intensification of production processes, optimization of design and control of production processes and technological systems to achieve the cumulative effect of saving energy resources are proposed.

**Practical value.** Determining measures to increase the energy efficiency of pharmaceutical production will allow to reduce energy consumption during production, to introduce measures for constant monitoring and control of consumed energy in order to ensure uninterrupted production processes and avoid reduction in the volume of production of medicines due to interruptions in energy supply.

**Keywords:** energy-saving technologies; energy management; medicinal products; pharmaceutical production.

## ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ЩОДО ПОДАННЯ РУКОПISУ СТАТЕЙ наукового фахового видання «Технології та інжиніринг» (Technologies and Engineering)

Редакційна колегія журналу «Технології та інжиніринг» приймає до розгляду наукові статті авторів за матеріалами досліджень і науково-технічних розробок. Подані статті розглядаються редакційною колегією журналу «Технології та інжиніринг», і після отримання позитивної рецензії приймаються до публікації.

### ПРАВИЛА ПОДАННЯ РУКОПISІВ СТАТЕЙ

Для публікації автори подають в редакцію журналу:

**(ЕТАП 1)** Подаються 2 електронних файли рукопису на електронну адресу [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua):

– один файл – в текстовому редакторі *Microsoft Word for Windows* (версії 97/2000/XP/2003).

Назва файлів: *Прізвище\_statja\_ukr.docx* та *Прізвище\_statja\_ukr.pdf*

В темі листа обов'язково вказується: Стаття у «Технології та інжиніринг».

- Другий файл – сканована копія заяви на перевірку на ознаки академічного плагіату (Додаток 3).

Після отримання електронного примірника рукопису наукової статті, Редакція направляє підтвердження щодо прийняття матеріалів на анонімне рецензування (у разі результату на ознаки академічного плагіату менше 9,99% схожості у Системі "Unicheck"). У разі необхідності Редакція направляє автору (-ам) пропозиції врахувати зауваження при підготовці статті та доопрацювати її.

**(ЕТАП 2)** Остаточо, після доопрацювання, до Редакції подаються:

**1)** 1 узгоджений електронний варіант статті (файл – Word формату). Назва файлу: *Прізвище\_statja\_ukr.docx*;

**2)** відомості про автора (-ів) (укр. та англ. мовами): ПІБ, вчений ступінь та звання, місце роботи (навчання), посада, місто, телефон, e-mail.

Назва файлу: *Прізвище\_vidom.docx*;

**3)** угоду про публікацію з автором (-ами) статті про авторські права;

**4)** оригінал платіжного документа, який засвідчує оплату за публікацію. **ОПЛАТА ЗДІЙСНЮЄТЬСЯ ПІСЛЯ ВНУТРІШНЬОГО РЕЦЕНЗУВАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ СТАТТІ ДО ДРУКУ.**

**Відсутність** зазначеного вище, а, також, відсутність підписів авторів або узгоджуваних віз, невідповідність вимогам засобу комунікації, наявність орфографічних, граматичних та стилістичних помилок, нехтування необхідністю дотримання лексичних, граматичних і стилістичних норм мови перекладу – є підставою для відмови в опублікуванні статті.

**Датою** надходження рукопису статті в редакцію вважається дата надсилання її **кінцевого варіанту**. Номер журналу, в якому публікуються подані матеріали, визначається редакцією журналу. До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Передрук та інше використання публікацій журналу здійснюється тільки за погодженням з редакцією та обов'язковим посиланням на джерело.

### ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ:

**УДК:** Times New Roman, кегль – 12 pt, без абзацу, міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по лівому краю, прописними літерами;

**ПРІЗВИЩЕ ІМ'Я по-БАТЬКОВІ** автора (-ів): Times New Roman, кегль – 12 pt, з абзацним відступом – 0,5 см, міжрядковий інтервал – 1, прописні, вирівнювання по лівому краю;

**Назва установи** (закладу): Times New Roman, кегль – 11 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 0,5 см, вирівнювання по лівому краю;

**НАЗВА СТАТТІ:** Times New Roman, кегль – 12 pt, міжрядковий інтервал – 1, прописні, напівжирні, з абзацним відступом – 0,5 см, вирівнювання по лівому краю.

*Порожній рядок.*

**Анотація** до статті **українською** мовою: Times New Roman, кегль – 11 pt, курсив, з абзацним відступом – 1,25 см, міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по ширині, назва рубрик – напівжирним;

**Анотація (UA) не менше 1800 знаків. Рубрики анотації:**

- Мета.
- Методика.
- Результати.
- Наукова новизна.

– Практична значимість.

**Ключові слова** анотації українською мовою: назва – *напівжирний курсив*, Times New Roman, кегль – 11 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 1,25 см.; перелік ключових слів: 5–6 слів чи словосполучень, Times New Roman, кегль – 11 pt, вирівнювання по ширині;

*Порожній рядок.*

**Основний текст статті:** Times New Roman, кегль – 12 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 1,25 см., вирівнювання по ширині.

Наукова стаття передбачає таку **послідовність** структурних елементів **текстової частини**:

– **Вступ** – постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями (5–10 рядків); актуальність і доцільність питання (5–10 рядків); останні дослідження та публікації, на які спирається автор, виділення невіршених частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття (звичайно ця частина статті становить близько 1/3 сторінки).

– **Постановка завдання** – формулювання цілей статті. Вказаний розділ вельми важливий, бо з нього читач визначає корисність для себе пропонованої статті; мета статті впливає з постановки загальної проблеми і огляду раніше виконаних досліджень, тобто дана стаття має на меті ліквідувати “білі плями” у загальній проблемі (обсяг цієї частини статті 5–10 рядків).

– **Результати дослідження** – виклад власне матеріалу дослідження (від 5–6 сторінок тексту). Невеликий обсяг потребує виділення головного у матеріалах дослідження; іноді можна обмежитися тільки формулюванням мети дослідження, короткою згадкою про метод вирішення задачі і викладом отриманих результатів; якщо на обсяг статті не має суворих обмежень, то доцільно описати методику дослідження повніше.

– **Висновки** – у закінченні наводяться висновки з даного дослідження і стисло подаються перспективи подальших розвідок у цьому напрямку.

Таблиця: Times New Roman, кегль – 12 pt, міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по центру, без абзацу. Згадана в тексті таблиця позначається скорочено (табл. 4). Всі таблиці, якщо їх декілька, нумерують арабськими цифрами в межах всього тексту: *Таблиця 1, Таблиця 2, ...*, тощо. Таблиці забезпечують тематичними заголовками, які розташовують з лівого боку сторінки перед таблицею і пишуть з прописної букви, *курсивом*, без крапки на кінці.

Вміст таблиці: Times New Roman 10/12pt, інтервал 1. Якщо цифрові або інші дані в певному елементі таблиці не подають, там обов'язково ставлять прочерк. У разі потреби таблиця забезпечується примітками, що поміщаються під таблицею. При перенесенні таблиці на наступну сторінку слід пронумерувати графи і продовжити їх нумерацію. Нову сторінку почати зі слів «*Продовження табл. 1*». Заголовок таблиці не повторюють.

*Після таблиці – порожній рядок.*

**Рисунки** (діаграми, фото та ін.) подаються у кольоровому та чорно-білому зображенні разом із текстом у місцях посилань на них та обов'язково в окремих файлах (*\*.TIFF, \*.jpg та ін.*) з роздільністю **300 dpi**. Бажана ширина рисунків – 9 см або не більше 17 см для карт, схем та інших об'ємних матеріалів. Рисунок має бути розташований по центру, **без обтікання текстом**. Рисунки розміщують „в тексті“, (не в таблицях). Символи, підписи, лінії рисунків слід виконувати таким чином, щоб вони сприймалися. Підписи до рисунків повинні містити нумерацію в порядку розміщення в тексті.

У тексті на ілюстрацію робляться посилання, що містять порядкові номери, під якими ілюстрації поміщені в статті. Всі ілюстрації, якщо їх декілька, нумерують арабськими цифрами в межах всього тексту: рис. 1, рис. 2, ..., тощо. Якщо в тексті тільки одна ілюстрація, то номер їй не привласнюється і слово «рисунок» не пишуть. Ілюстрації забезпечують тематичними заголовками, які розташовують посередині сторінки після рисунку і пишуть з прописної букви, **напівжирним**, без крапки на кінці. Кожну ілюстрацію необхідно забезпечувати підписом, знизу ілюстрації, розкриваючи його зміст, який повинен відповідати основному тексту і самій ілюстрації. В підписі дається, також, розшифровка умовних позначень (цифрових та буквених).

*Після ілюстрації – порожній рядок.*

**Формули** в статтях мають бути набрані за допомогою редактора формул (внутрішній редактор формул в редакторі Microsoft Word for Windows). Прості формули та символи, що їх складають, набираються за допомогою редактора формул, стиль – математичний (курсив), розмір формул – 10 pt. Складні формули набирають у редакторі Microsoft Equation. Формули завдовжки понад 8 см розбивають на окремі блоки до 8 см (за окремими винятками – 17 см). Формули відокремлюють від тексту зверху та знизу одним інтервалом. Нумерація формул, на які є посилання в тексті, – справа в дужках. Усі *фізичні величини* подаються в системі СІ. Цілі частини від десяткових відокремлюються комою. Формули набираються в редакторі формул *MathType* та розташовуються по центру (без абзацу) рядка, нумерація цифрова, наскрізна. Номер формули (у круглих дужках, Times New Roman, кегль – 12 pt) розташовується по правому краю сторінки на одному рівні з формулою. Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів розташовують безпосередньо під формулою, у тій послідовності, у якій вони представлені у формулі. Кожне значення необхідно пояснювати в новому абзаці з відступом 75 мм. Перший ряд пояснень начитають зі слова «де» (без відступу).

**Список використаної літератури** – елемент бібліографічного апарату, котрий містить описи використаних джерел. Список використаної літератури приводиться наприкінці статті. При цитуванні літератури в тексті необхідно вказувати номер у квадратних дужках, наприклад [1]. Нумерація літератури в порядку згадування,

арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації: Times New Roman 12 pt, міжрядковий інтервал 1, без абзацного відступу, вирівнювання по ширині.

Список джерел – не менше 10 позицій, мовами оригіналу, оформляється згідно з ДСТУ 3017: 2015. У тексті рукопису посилання на літературу ставляться в квадратні дужки.

References – Times New Roman 11 pt, міжрядковий інтервал 1,0, без абзацного відступу, вирівнювання по ширині. Транслітерований (*транслітерація з укр. мови – <http://www.slovyk.ua/services/translit.php>; з рос. – <http://www.fotosav.ru/services/transliteration.aspx>*) та перекладений англійською список літератури з дотриманням вимог міжнародних стандартів оформлення бібліографічних посилань.

*Порожній рядок.*

В кінці надається коротко інформація англійською мовою Times New Roman, кегль – 10 pt, прописні, міжрядковий інтервал – 1, назва рубрик – курсив.

**Приклад:**

**IVANOV YURII**

*PhD, Professor*

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

<https://orcid.org/0000-0001-8718-1202>

*Scopus Author ID: 9134000100*

*Researcher ID: H-6012-2020*

*e-mail: обо 'язково*

**Анотація (EN) не менше 1800 знаків.**

**ПРИЗВИЩЕ І. Б.** автора (-ов): Times New Roman, кегль – 12 pt, прописні, міжрядковий інтервал – 1, без абзацу, вирівнювання по центру.

**Назва установи** (закладу): Times New Roman, кегль – 11 pt, курсив, міжрядковий інтервал – 1, без абзацу, вирівнювання по центру.

**НАЗВА СТАТТІ:** Times New Roman, кегль – 12pt, міжрядковий інтервал – 1, прописні, напівжирні, без абзацу, вирівнювання по центру.

Анотація до статті англійською мовою: Times New Roman, кегль – 11 pt, з абзацним відступом – 1,25 см., міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по ширині, назва рубрик – **напівжирним**;

Рубрики анотації:

- Purpose.
- Methodology.
- Findings.
- Originality.
- Practical value.

Ключові слова анотації англійською мовою: назва – **напівжирний**, Times New Roman, кегль – 11 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 1,25 см.; перелік ключових слів: 5 – 6 слів чи словосполучень, Times New Roman, кегль – 11 pt, *курсив*, вирівнювання по ширині.

Застосування автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, тощо) **НЕ ДОПУСКАЄТЬСЯ**. Переклад (статті, анотації, тощо) має бути належної якості.

Остаточний висновок щодо публікації схвалює редакційна колегія журналу та повідомляє автора (-ів) телефонним дзвінком або повідомленням по електронній пошті.

Редакція лишає за собою право на незначне редагування та скорочення, зберігаючи при тому головні висновки та авторську стилістику. **Статті, оформлені без дотримання зазначених вимог, розглядатися не будуть**

**Статті приймаються на поштову скриньку: [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua).**

**Банківські реквізити видання «Технології та інжиніринг» для перерахування оплати за публікацію наукової статті (вартість 1 стор. формату А4 коштує 60 грн):**

**Одержувач:** Київський національний університет технологій та дизайну

Код ЄДРПОУ отримувача: 02070890

Банк отримувача: ДКСУ у м. Києві

Код банку отримувача: 820172

Розрахунковий рахунок: **UA038201720313251003202003551**

**Призначення платежу:** П.І.Б. (автора (-ів) публікації) – Технічні науки.

# ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування

КРИВОНОС Олена

Технічний редактор

ПАНАСЮК Ігор

Відповідальний за поліграфічне виконання

ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 18.10.2023. Формат 60×84 1/8.  
Ум. друк. арк. 15,8. Облік. вид. арк. 12,38. Наклад 100 пр. Зам. .

Видавець і виготовлювач Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська, 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 18.10.2023. Format 60×84 1/8.  
Conditional sheet 15.8. Calculated sheet 12.38. Circulation 100 copies. Order N .

KNUTD Instant Printing Department.  
Mala Shyianovska Street, 2, Kyiv, 01011, Ukraine.

Certificate KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021 р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.