

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2021

---

# ВІСНИК

**Хмельницького**

**національного**

**університету**

**Технічні науки**

---

**Technical sciences**

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2021, Issue 1, Volume 293

Хмельницький

**ВІСНИК  
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання категорії «Б»,  
РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019 та №409 від 17.03.2020

*Засновано в липні 1997 р.*

*Виходить 6 разів на рік*

---

**Хмельницький, 2021, № 1(293)**

---

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет  
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Включено до науково-метричних баз:

<b>Google Scholar</b>	<a href="http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&amp;user=aUP9OYAAAAAJ">http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&amp;user=aUP9OYAAAAAJ</a>
<b>Index Copernicus</b>	<a href="http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&amp;id_lang=3">http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&amp;id_lang=3</a>
<b>Polish Scholarly Bibliography</b>	<a href="https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221">https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221</a>
<b>CrossRef</b>	<a href="http://doi.org/10.31891/2307-5732">http://doi.org/10.31891/2307-5732</a>

<b>Головний редактор</b>	<b>Скиба М. Є.</b> , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
<b>Заступник головного редактора</b>	<b>Синюк О. М.</b> , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
<b>Відповідальний секретар</b>	<b>Горященко С. Л.</b> , к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

**Ч л е н и р е д к о л е г і ї**

*Технічні науки*

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н., Говорущенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Защепкіна Н.М., д.т.н., Захаркевич О.В., д.т.н., Злотенко Б.М., д.т.н., Зубков А.М., д.т.н., Каплун П.В., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Місяць В.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Параска О.А., к.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Харжевський В.О., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н., професор, Бубуліс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчинські Томаш, доктор наук (Польща), Коробко Євгенія Вікторівна, д.т.н. (Білорусія), Лунтовський Андрій Олегович, д.т.н. (Німеччина), Матушевський Мацей, доктор наук (Польща), Мушлевський Лукаш, доктор наук (Польща), Мушял Януш, доктор наук (Польща), Натріашвілі Тамаз Мамієвич, д.т.н., (Грузія), Попов Валентин, доктор природничих наук (Німеччина)

<i>Технічний редактор</i>	Горященко К. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,  
протокол № 8 від 25.02.2021 р.**

**Адреса редакції:** редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"  
Хмельницький національний університет  
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

<b>☎</b>	(038-2) 67-51-08	<b>web:</b>	<a href="http://journals.khnu.km.ua/vestnik">http://journals.khnu.km.ua/vestnik</a>
<b>e-mail:</b>	<a href="mailto:visnyk.khnu@khmnu.edu.ua">visnyk.khnu@khmnu.edu.ua</a> <a href="mailto:visnyk.khnu@gmail.com">visnyk.khnu@gmail.com</a>		<a href="http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm">http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm</a>

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.  
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2021  
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2021

## ЗМІСТ

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІ,  
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА**

<b>О.С. АНДРОЩУК, Ю.П. КЛЬОЦ, В.С. ОРЛЕНКО, В.М. ЧЕШУН</b> ФУНКЦІОНАЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕНЕРАТОРА КРИПТОКЛЮЧІВ З ДЖЕРЕЛАМИ ЕНТРОПІЇ ДЛЯ МОБІЛЬНОГО БАНКІНГУ .....	7
<b>В.М. ДЖУЛІЙ, Ю.П. КЛЬОЦ, В.С. ОРЛЕНКО, В.Ю. ТІТОВА, Ю.В. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ</b> ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ І СТАБІЛЬНОСТІ ЗАВАДОСТІЙКИХ БЕЗПРОВОДОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ .....	12
<b>В. В. БАТАРЕСВ</b> МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....	17
<b>О. В. ГРИНЧАК, Р. В. МОЦИК</b> ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДИЗАЙН .....	22
<b>Т.М. ЗАКУСИЛО, В. І. МЕСЮРА</b> ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОРІВНЯННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПОДІЙ .....	27
<b>Л.І. МОЧУРАД</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ФОНДІВ .....	33
<b>Р.С. ПАЗДЕРСЬКА, О.В. МАРКОВЕЦЬ</b> КЛАСИФІКАЦІЯ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ .....	37
<b>О.В. РУЗАКОВА, Н.П. ЮРЧУК</b> ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ФІНАНСОВИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ПОБУДОВІ СППР .....	45
<b>В.В. РУСІНОВ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАДАЧ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ЗАБОРГОВАНOSTІ В КРЕДИТНІЙ СФЕРІ .....	52
<b>Ю.С. СОКОЛАН, О.В. РОМАНШИНА</b> АНАЛІЗ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ НЕЩАСНИХ ВИПАДКІВ ТА АНАЛІЗУ ТРАВМАТИЗМУ .....	58
<b>А.Ю. ШІЛІНГ</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОНЛАЙН СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СПОЖИВАЧІВ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ .....	67
<b>О. Ю. ШАМУРАТОВ, Н. Б. ШАХОВСЬКА</b> АНІМУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АФІННИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ .....	73
<b>В. ЯКОВИНА, Н. ШАХОВСЬКА, Я. МАТВІЙЧУК, Є. ЗАСОБА</b> РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КАРТ КОХОНЕНА ТА ІЄРАРХІЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ .....	78

**МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

<b>О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, А.Ю. САЗОНОВ, С.С. КОТЛЯР, Ю.В. КИРИЧУК, Н.М. НАЗАРЕНКО, І.Ю. ЧЕРЕПАНСЬКА</b> СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ КАМЕНЮ .....	83
--	----

<b>М.Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОГО МОМЕНТУ ОПОРУ ВЕДУЧОГО ВАЛУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ .....	86
---	----

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА**

<b>Л.А. БІЛИЙ, О.С. ПОЛЩУК, С.П. ЛІСЕВИЧ, А.О. ПОЛЩУК, М.А. ЛУЧИНСЬКИЙ</b> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НЕЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ .....	93
--	----

<b>С.М. БОЙКО, О.А. ЖУКОВ, С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, І.В. КАСАТКІНА, Я.С. ДОЛУДАРЄВА</b> МОДЕРНІЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ .....	97
--	----

<b>А.А. ВИДМИШ, А.А. ШТУЦЬ, М.А. КОЛІСНИК</b> БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ФАЗНИМ РОТОРОМ .....	104
--	-----

<b>А.А. ВИДМИШ, А.А. ШТУЦЬ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНЕНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГРАВІТАЦІЙНОГО БЕТОНОЗМІШУВАЧА ШЛЯХОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ .....	113
--	-----

<b>Є.О. СТАРЧЕНКО</b> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ 300 МВТ .....	125
---	-----

<b>М. М. ЯРОЦЬКИЙ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ БЛОКУ ВВЕР-1000 .....	130
--	-----

<b>В. А. ПОПОВ, Д.В. ЯЦЕНКО, О.В. АДАНКОВ, В.О. ОНУФРЕЙ</b> АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ .....	135
--	-----

**АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА**

<b>Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, С.О. КИРІЛЮК</b> МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ .....	145
---	-----

<b>В.П. МІСЯЦЬ, М.М. РУБАНКА, С.А. ДЕМШОНКОВА, О.С. ПОЛЩУК</b> СИСТЕМА АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ АВТОМАТИЧНИХ КАВОВИХ МАШИН .....	151
---	-----

<b>О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК, Д.Р. ІЛЬЧУК, Г.О. ПАСТУШЕНКО</b> ОПТИКО-ЧАСТОТНИЙ ВИТРАТОМІР ГАЗУ .....	160
---	-----

<b>О.М. СИНЮК, С.Л. ГОРЯЩЕНКО, Г.М. ДРАПАК, Ю.В. КРАВЧИК</b> МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ НАТЯЖНОЇ СТАНЦІЇ КОНВЕЄРА З КОНТРОЛЕМ ПОЛОЖЕННЯ СТРІЧКИ ТА НАТЯГУ НА ВАЛАХ .....	171
---	-----

**ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

<b>С.Ю.БОБРОВА, Л.Є. ГАЛАВСЬКА, В.І. БЕЗСМЕРТНА</b> ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ В'ЯЗАННЯ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ НА ВТРАТУ МІЦНОСТІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ НИТОК .....	176
<b>А.Я. ГАНЗЮК, Л.М. МАСЛО</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНТЕНСИФІКАТОРА НА СОРБЦІЮ ДИСПЕРСНИХ БАРВНИКІВ .....	183
<b>Т.М. ЛИПСЬКИЙ, Н.В. ПЕРВАЯ, А.І. БАБИЧ</b> РОЗРОБЛЕННЯ ВЗУТТЯ В СТИЛІ ГРАНЖ .....	192
<b>М.М. ЛЕЩИШИН, Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО</b> ДОСЛІДЖЕННЯ КОМФОРТНОГО ТИСКУ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ВЗУТТЯ НА СТОПУ СПОЖИВАЧА .....	198
<b>О.О. ОНИЦУК</b> ДО РОЗРАХУНКУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ ДЛЯ ПОВІЛЬНОГО ФІЛЬТРУВАННЯ ЧЕРЕЗ ШАР СОРБЕНТУ .....	208
<b>О.В. ПАХОЛЮК, Г.О. ПУШКАР, І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК</b> ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЙ ТА КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ НАНОПРОДУКЦІЇ В СВІТІ ТА УКРАЇНІ .....	212
<b>М.Є. РАЦУК, Д.Г. САРІБСКОВА</b> ОДЕРЖАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЙОГУРТІВ З ЦУКРОЗАМІННИКАМИ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ .....	217
<b>Л.В. САЛЄБА, Д. Г. САРІБСКОВА</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ АНТОЦΙΑНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФЕРМЕНТНИХ КОМПЛЕКСІВ .....	222
<b>В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ, О.К. КОПАЙГОРА, Д.П. ЗАКІНА, А.К. ЛИТВИНЕНКО</b> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАМОРОЖУВАННЯ РЕМІСНИЧОГО ХЛІБА .....	227
<b>В.Ю. ЩЕРБАНЬ, А.К. ПЕТКО, О.З. КОЛИСКО, Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ, М.І. КОЛИСКО</b> БАЗА ФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ НИТКИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ .....	234



**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІ,  
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-293-1-7-11

УДК 004.421.5:004.942

О.С. АНДРОЩУК, Ю.П. КЛЬОЦ, В.С. ОРЛЕНКО, В.М. ЧЕШУН  
Хмельницький національний університет**ФУНКЦІОНАЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕНЕРАТОРА КРИПТОКЛЮЧІВ З  
ДЖЕРЕЛАМИ ЕНТРОПІЇ ДЛЯ МОБІЛЬНОГО БАНКІНГУ**

*В роботі представлено опис базових принципів використання датчиків пристроїв мобільного зв'язку в якості джерел первинної ентропії генераторів криптоключів системи клієнт-банк при наданні послуг мобільного банкінгу, визначено процедуру накопичення і обробки пулу ентропії, уточнено основні функції процедури та приведено деталізовану функціональну модель процесу генерації криптоключів. Отримані результати дають можливість виконати деталізацію алгоритму роботи системи клієнт-банк із застосуванням генераторів криптоключів підвищеної ентропії в мобільному банкінгу та інших сервісах.*

*Ключові слова: алгоритм, мобільний банкінг, криптографічний ключ, генератор псевдовипадкових чисел, ентропія.*

O.S. ANDROSHCHUK, Y.P. KLOTS, V.S. ORLENKO, V.M. CHESHUN  
Khmelnytskyi National University**FUNCTIONAL REALIZATION OF CRYPTOGRAPHIC KEYS GENERATOR  
WITH ENTROPY SOURCES FOR MOBILE BANKING**

*One of the important components of the security of the client-bank system is the protection mechanisms based on the use of cryptographic keys. The stability of cryptographic keys is a guarantee of system reliability and, in turn, is based on the mechanisms of generating pseudo-random numbers using primary entropy sources, for the effective use of which it is necessary to define and describe the functions of the algorithm for data processing.*

*The paper describes the basic principles of using sensors of mobile devices as primary entropy sources for cryptographic keys generators of the client-bank system in the provision of mobile banking services, defines the procedure for accumulation and processing of entropy pool from sensors, described the main functions of the procedure and detailed functional model the process of generating cryptographic keys. The obtained results make it possible to perform a detailed algorithm of the client-bank system with the use of high-entropy cryptographic keys generators in mobile banking and other services.*

*The obtained results are focused on the implementation of algorithms and means of generating pseudo-random numbers of high entropy and can be used to reduce the risks of unauthorized access to customer information in the client-bank system through the disclosure of cryptkeys in mobile banking services. Mobile phone sensors or other devices and phenomena that are characterized by the ability to form a pool of values with a high level of entropy can be used as sources of entropy.*

*Keywords: algorithm, mobile banking, cryptographic key, pseudo-random number generator, entropy.*

**Вступ**

Історія банківської діяльності протягом сторіччя нерозривно пов'язується з фінансовими злочинами. Відповідно, з моменту започаткування банківської діяльності виникла потреба в оцінці наявних загроз та ризиків з подальшим визначенням методів та засобів захисту.

В епоху суцільної комп'ютеризації, інформатизації, глобалізації і науково-технічного прогресу банківська діяльність отримала потужний потенціал вдосконалення: постійно нарощується перелік послуг, розширюється спектр банківських сервісів, впроваджуються новітні системи обслуговування, вдосконалюються технології захисту. Сучасна банківська система – надскладний механізм, в якому задіяно величезну кількість співробітників та використовуються різноманітні технології, але запровадження нових сервісів та технологій нерозривно пов'язане з появою нових загроз та ризиків [1].

Намагання банків утримувати лідерські позиції в умовах жорсткої конкуренції зумовлює їх зацікавленість у якнайшвидшому впровадженні нових технологій і систем, що призводить до жорсткого обмеження на строки випробування подібних систем і до ризиків виникнення вад в процедурах їх захисту, якими успішно користуються зловмисники. За надійність електронних систем захисту банківської інформації сьогодні відповідають колективи фахівців з інформаційної та кібербезпеки, діяльність яких є досить вузькоспеціалізованою через велику складність організації систем безпеки, різноманіття застосовуваних в них методів і засобів, потребу врахування багатьох аспектів вирішуваних завдань та застосування останніх досягнень науки і практики в сфері захисту інформації.

Однією із спеціалізованих задач кібербезпеки банківської діяльності, якій постійно приділяється велика увага, є генерація криптоключів високої криптостійкості для систем клієнт-банк як одного з головних засобів захисту клієнтських даних і активів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Особливістю сучасної банківської діяльності є різноманіття сервісів банківських послуг, які орієнтовані на використання різноманітних технологій і засобів організації взаємодії клієнт-банк [2].

Відповідно, в кожній задачі кіберзахисту банківської діяльності повинні враховуватись специфіки зазначених сервісів і технологій їх реалізації. Неможливо уявити якісного генератора криптоключів, розробленого без урахування специфічних особливостей і можливостей засобів генерації та експлуатації цих ключів.

До типових сервісів сучасних банківських послуг відносять комп'ютерний банкінг (PC banking), телефонний банкінг (Phone banking), SMS-банкінг (SMS banking), WAP-банкінг (WAP banking), мобільний банкінг (Mobile banking), Internet-банкінг (Internet banking, WEB banking, Online banking) тощо [2,3,4]. Особливе місце серед банківських сервісів в сучасних умовах займає мобільний банкінг, який набуває все більшої популярності і поширення. З наведеного переліку видно, що мобільний банкінг існує не лише як самостійний сервіс (Mobile banking) – з використанням мобільного зв'язку реалізується цілий ряд інших сервісів (SMS banking, WAP banking тощо). З іншої сторони, за наданою в [5] класифікацією, серед трьох основних ризиків, які в даний час пов'язані з банківською справою в мережі Internet, саме мобільний банкінг перебуває на першому місці.

Перелічені фактори зумовлюють актуальність розробки методів і засобів генерації криптоключів високої криптостійкості для систем клієнт-банк з орієнтацією саме на мобільний банкінг.

Формування криптоключів системи клієнт-банк базується на використанні псевдовипадкових чисел та засобів їх генерації, при чому генерація якісної випадкової послідовності чисел – найскладніша частина багатьох криптографічних операцій [6,7,8,9].

Стрімке вторгнення на ринок банківських послуг мобільного банкінгу створює не лише нові загрози, але і нові можливості. Зокрема, в [10,11] описується технологія застосування датчиків мобільних пристроїв в якості генератора псевдовипадкових чисел. Аналіз специфіки роботи датчиків мобільних пристроїв, характерна змінюваність складу датчиків між моделями та різна їх продуктивність – сукупність факторів, які не дозволяють розглядати зазначені датчики як стабільні і високопродуктивні генератори криптоключів системи клієнт-банк [12]. В той же час, в [12] висунуто гіпотезу про перспективність використання цих датчиків в якості ефективних джерел первинної ентропії, для підтвердження якої запропоновано математичну і узагальнену структурну моделі процесу генерації псевдовипадкових чисел підвищеної ентропії.

Запропоновані в [12] моделі процесу генерації псевдовипадкових чисел містять інструментарій і опис загальних підходів для реалізації генератора криптоключів з джерелами ентропії у вигляді датчиків мобільного пристрою для системи клієнт-банк при наданні послуг мобільного банкінгу, але вони потребують подальшої деталізації і уточнення з метою практичного застосування, що і є предметом даної роботи.

### Викладення основного матеріалу

Проведений в [11,12,13] аналіз свідчить на користь використання датчиків сучасних пристроїв мобільного зв'язку (ПМЗ) в якості джерел первинної ентропії для генераторів криптоключів системи клієнт-банк (при реалізації мобільного банкінгу тощо). В той же час, специфічні особливості різних видів ПМЗ і їх датчиків зумовлюють і специфічні вимоги щодо їх застосування за призначенням.

Серед специфічних властивостей ПМЗ, які мають враховуватись при визначенні положень алгоритму роботи генератора криптоключів підвищеної ентропії, слід відзначити:

- різний набір датчиків у різних видів і моделей ПМЗ;
- різні формати видачі результатів вимірювань і кількість формованих показників для різних датчиків;
- обмежену розрядність результатів вимірювань;
- можливість використання в якості носіїв первинної ентропії лише фрагменту від вектора показника датчика.

Перелічені властивості ПМЗ і їх датчиків обмежують можливості зазначених датчиків щодо генерації векторів-носіїв ентропії з розрядністю, відповідною потребам завдань генерації криптоключів високої криптостійкості. Таким чином, актуальною стає задача накопичення множини або, іншими термінами, пулу значень векторів-носіїв ентропії з загальною розрядністю, достатньою для забезпечення криптостійкості систем, які будуть використовувати цей пул.

З наведеної в [12] моделі можна побачити, що відповідна операція підпадає під завдання функції накопичення-поєднання векторів ентропії  $F_3$ . Стосовно функції  $F_3$  зазначимо, що вона займає проміжне місце між функціями перетворення двійкових кодів  $F_2$  і  $F_4$  та є залежною від них, тому має бути узгодженою з ними. Функції  $F_2$  виділяє ентропійну складову з векторів-носіїв ентропії  $q_{ji} \in Q_{дж,j}$  (де  $Q_{дж,j}$  – множина представлених в цифровому вигляді векторів вихідних значень з  $j$ -го датчика ПМЗ, використаного в якості джерела ентропії), але не забезпечує достатньої розрядності результуючого вектора. Функція  $F_3$  має поєднати ентропійну складову декількох векторів  $q_{ji} \in Q_{дж,j}$  в одному векторі для реалізації функції  $F_4$ , яка, в свою чергу, має передати сумарну ентропійну складову «збірною» вектора на вхід криптографічного алгоритму генерації псевдовипадкових значень в заданій розрядності, тобто, виконати стиснення вектора до потрібної розрядності без втрат ентропійних властивостей. В [12] було також рекомендовано тип функції  $F_4$  як хеш-функції, але не визначено вимог до неї.

В системах клієнт-банк, як правило, використовуються функції хешування розрядністю 256 біт, які визнані достатньо захищеними і криптостійкими для виконання покладених на них завдань.



В поширеній сьогодні системі клієнт-банк «iBank 2 UA» використовується процедура обчислення хеш-функції ГОСТ Р34.11-94, яка видає хеш-функції розрядністю 256 біт. Довжина хеш-функції щонайменше в 256 біт для криптографічних задач обирається для того, щоб забезпечити стійкість до атак із застосуванням сучасних обчислювальних технологій. Довжина 64 біти визнана занадто малою в сучасних умовах, а довжина 128 біт – ризикованою для гарантованого захисту. Стосовно процедури обчислення хеш-функції ГОСТ Р34.11-94 слід зазначити, що на сьогодні ця розробка 1994 року минулого сторіччя визнана вже застарілою і, крім того, є інструментом криптозахисту від країни-агресора, що робить її використання в нашому дослідженні як обов'язкового компонента необґрунтованим.

Більш якісною альтернативою хеш-функції ГОСТ Р34.11-94 є визнаний у всьому світі стандарт SHA-256 (Secure Hash Algorithm) – криптографічна хеш-функція, розрядність якої на виході дорівнює 256 біт, вперше розроблена Агенством національної безпеки США навесні 2002 року і належить до хеш-функцій класу SHA-2, ключі якого до сьогодні не скомпроментовані. [14]

Оскільки алгоритм хеш-функції SHA-256 може бути рекомендований, але не є стандартом хешування в системі клієнт-банк України, в подальшому дослідженні будемо оперувати узагальненим поняттям хеш-функції H256, яке може бути застосоване до хеш-функції SHA-256, до хеш-функції ГОСТ Р34.11-94, а також до ряду існуючих і перспективних функцій.

Головним висновком з проведеного аналізу є те, що функція  $F_4$  запропонованої математичної моделі є підвидом хеш-функції H256, тобто, має розрядність  $R=256$  біт. З цього слідує висновок, що для реалізації алгоритму роботи системи клієнт-банк із застосуванням генераторів криптоключів підвищеної ентропії, згідно із запропонованими принципами, необхідно мати пул ентропії розрядністю щонайменше 256 біт. Цей пул має бути отриманий від будь-якого набору датчиків у різних видів і моделей ПМЗ з урахуванням можливості використання в якості носіїв первинної ентропії фрагменту значення показника датчика.

Для алгоритмічного опису процедури формування і обробки пулу ентропії від датчиків ПМЗ введемо математичний опис операції визначення розрядності  $r_{ji}$  векторів  $q_{ji} \in Q_{дж.ж}$ :

$$r_{ji} = |q_{ji}|. \quad (1)$$

При використанні в якості джерел ентропії  $n$  датчиків сумарна розрядність пулу ентропії  $\Delta R$ , генерованої функцією  $F_3$  при однократному опитуванні датчиків, буде визначатись як сумарна розрядність всіх отримуваних з виходу функції  $F_2$  векторів-носіїв ентропії  $q_{ji} \in Q_{дж.ж}$ :

$$\Delta R = \sum_{i=1}^n r_{ji}. \quad (2)$$

Мінімально-достатня кількість ітерацій  $K$  однократного одержання пулу векторів-носіїв від всіх джерел для формування загального пулу розрядністю  $R$  може бути розрахована за формулою:

$$K = R/\Delta R. \quad (3)$$

За  $K$  ітерацій необхідний пул має бути сформований, що є підставою для виконання функцій хешування  $F_4$  і функції генерації ключів підвищеної ентропії  $F_5$ ; за характерними для них типовими алгоритмами.

За потреби розмір пулу може бути збільшений, але це збільшить час на формування вибірки.

З урахуванням висновків, зроблених при визначенні методології накопичення і обробки пулу ентропії, запропоновану в [12] модель процесу генерації псевдовипадкових чисел, відображену трьохрівневою структурою послідовно-виконуваних операцій  $F_1-F_5$  доцільно уточнити з урахуванням специфічних особливостей застосування датчиків ПМЗ в якості джерел первинної ентропії.

Для доведення моделі у відповідність положенням запропонованої методики накопичення і обробки пулу ентропії необхідно врахувати потребу адаптованості пропонованого методу до кількості наявних в ПМЗ датчиків-джерел ентропії. Зазначена операція, з однієї сторони, є невід'ємною складовою алгоритму роботи з датчиками ПМЗ, а з іншої сторони, не відноситься до числа операцій, які безпосередньо забезпечують перетворення сигналів і даних, що несуть ентропію шумових явищ від наявних джерел ентропії.

Виходячи з останнього твердження, адаптацію генератора до кількості наявних в ПМЗ датчиків-джерел ентропії можна ідентифікувати як підготовчу операцію алгоритму роботи системи, тому позначимо її як підготовчу операцію  $F_0$  (рис.1).

На підставі проведеного аналізу і зроблених висновків уточнимо перелік базових функцій алгоритму генерації криптоключів для системи клієнт-банк із застосуванням датчиків мобільних пристроїв як джерел ентропії:

- $F_0$  – функція-процедура визначення кількості датчиків-джерел ентропії та їх ідентифікації;
- $F_1$  – функція-процедура зчитування даних показників датчиків (перетворення аналогового сигналу (сигналів) в вектор (вектори) цифрового коду з допомогою датчиків ПМЗ);
- $F_2$  – функція-процедура виділення з вектора (векторів) показників датчиків розрядів, що несуть максимальну ентропійну складову;

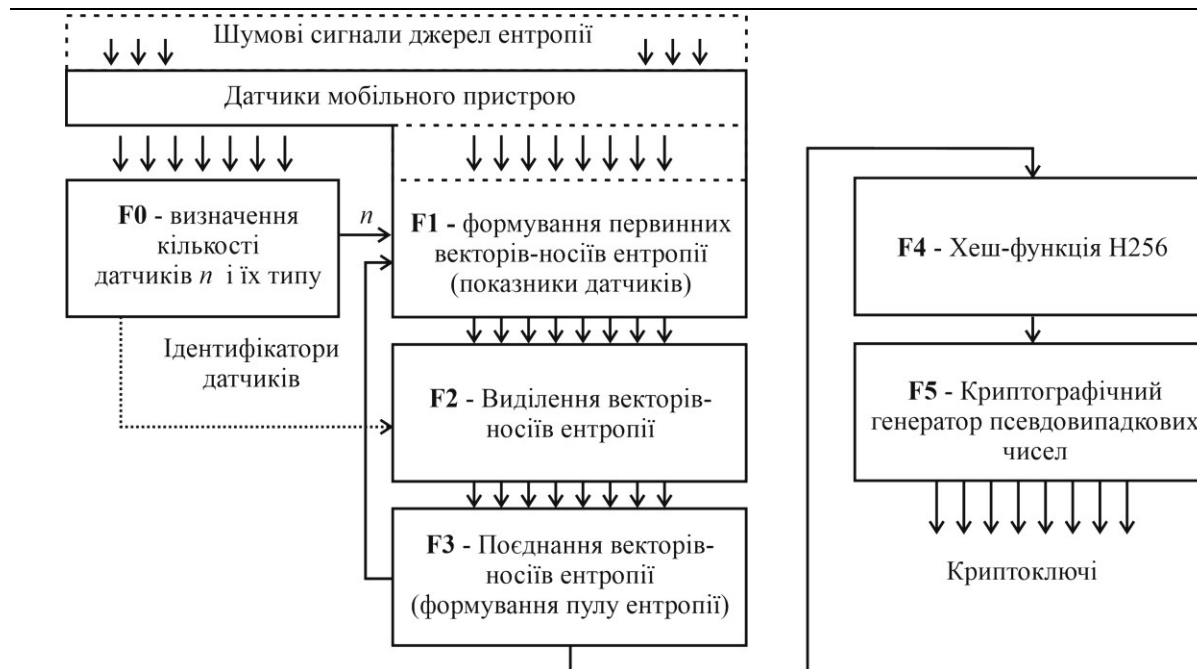


Рис.1. Деталізована функціональна модель процесу генерації криптоключів із застосуванням датчиків мобільних пристроїв в якості джерел ентропії

- $F_3$  – функція-процедура накопичення пулу ентропії і формування вигляді єдиного вектора-носія ентропії заданої розрядності;
- $F_4$  – функція-процедура хешування вектора-носія ентропії;
- $F_5$  – функція-процедура криптографічного методу генерації псевдовипадкових чисел.

Виконання перелічених функцій має забезпечити формування послідовностей псевдовипадкових чисел з максимальним збереженням ентропійних властивостей, отримуваних від джерел ентропії, що дозволяє ідентифікувати отримувані послідовності чисел як випадкові, а побудований за наведеними принципами генератори розглядати як генератори криптоключів підвищеної ентропії.

### Висновки

В роботі деталізовано базові принципи використання датчиків пристроїв мобільного зв'язку в якості джерел первинної ентропії генераторів криптоключів системи клієнт-банк при наданні послуг мобільного банкінгу, сформовано обґрунтований опис процедури накопичення і обробки пулу ентропії для реалізації алгоритму роботи системи клієнт-банк із застосуванням генераторів криптоключів підвищеної ентропії, уточнено основні функції процедури та приведено деталізовану функціональну модель процесу генерації криптоключів. Підводячи підсумок проведеним дослідженням з визначення і деталізації базових принципів використання датчиків мобільних пристроїв як джерел первинної ентропії, з урахуванням сформульованих правил накопичення і обробки пулу ентропії та використанням інструментарію запропонованої математичної моделі, отримані результати дають можливість виконати деталізацію алгоритму роботи системи клієнт-банк із застосуванням генераторів криптоключів підвищеної ентропії в мобільному банкінгу та інших сервісах.

### Література

1. Безпека Інтернет-банкінгу в Україні: практичні аспекти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://bankchart.com.ua/e\\_banking/statti/bezpeka\\_internet\\_bankingu\\_v\\_ukrayini\\_praktichni\\_aspekti](https://bankchart.com.ua/e_banking/statti/bezpeka_internet_bankingu_v_ukrayini_praktichni_aspekti).
2. Геселева Н.В. Інформаційна система підтримки електронних платежів через Інтернет / Н.В. Геселева, Г.В. Пронюк, В.В. Добровольський // Економіка і суспільство, 2018. – Випуск №14. – С. 1005–1010.
3. Умови надання банківських послуг з використанням систем дистанційного обслуговування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.bisbank.com.ua/wp-content/uploads/2020/08/dodatok-7-umovu\\_system\\_dist\\_obsługov\\_z-11.05.2019-do-05.07.2019.pdf](https://www.bisbank.com.ua/wp-content/uploads/2020/08/dodatok-7-umovu_system_dist_obsługov_z-11.05.2019-do-05.07.2019.pdf)
4. Система «iBank 2» для корпоративних клієнтів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ibank.otpbank.ru/Corporate\\_Internet-Banking\\_Guide.pdf](https://ibank.otpbank.ru/Corporate_Internet-Banking_Guide.pdf).
5. Khatri P. The importance of cyber security in banking [Електронний ресурс]. / Prem Khatri: Vice President of Operations, Chetu, Inc. – The Global Treasurer, Categories: Banking Cyber Security & Fraud Technology. – September 25, 2019. – Режим доступу: <https://www.theglobaltreasurer.com/2019/09/25/the-importance-of-cyber-security-in-banking/>.
6. Горицький В.М. Генерація випадкових послідовностей для систем управління ключами / В.М. Горицький, О.В. Снежок, М.С. Височіненко // Сучасний захист інформації, 2012. – №4. – С. 88–95.
7. Грінченко Т. О. Квантові генератори випадкових чисел в криптографії / Т. О. Грінченко, О. П.

Нарежній // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 10. – С. 86–89.

8. Heat transfer and entropy generation in a microchannel with longitudinal vortex generators using nanofluids / Amin Ebrahimia, Farhad Rikhtegar, Amin Sabaghana, Ehsan Roohia Energy // Energy. – Volume 101, 15 April 2016. – P. 190–201.

9. Фауре Е. В. Синтез і аналіз псевдовипадкових послідовностей на основі операцій криптографічного перетворення / Е. В. Фауре, С. В. Сисоєнко, Т. В. Миронюк // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 4. – С. 85–87.

10. Toward sensorbased random number generation for mobile and IoT devices / K. Wallace, K. Moran, E. Novak, G. Zhou, K. Sun // IEEE Internet Things J. – Dec. 2016. – Vol. 3, № 6. – P. 1189–1201.

11. Демський О.О. Метод реалізації генератора випадкових чисел / О.О. Демський, В.О. Бойчук // «Інтелектуальний потенціал – 2018» - збірник наукових праць молодих науковців і студентів з нагоди 30-річчя підготовки ІТ- фахівців в ХНУ. – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2018. – Ч.3: Кібербезпека та актуальні проблеми комп'ютерних систем і мереж. – С. 40–44.

12. Модель генератора криптоключів з джерелами ентропії для системи клієнт-банк / В. С. Орленко, В. М. Чешун, О. С. Андрощук, А. І. Катаєва // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» – 2020. – № 2. – С. 103–112.

13. Чешун В. М. Оцінка ефективності роботи генератора криптоключів підвищеної ентропії для системи клієнт-банк / В. М. Чешун, В. І. Чорненький, В. В. Яцків // Збірник наукових праць молодих науковців і студентів «Інтелектуальний потенціал – 2020». – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2020. – Частина 2. – С. 84–93.

14. Lane Wagner, How SHA-2 Works Step-By-Step (SHA-256) / Published July 8, 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://qvault.io/2020/07/08/how-sha-2-works-step-by-step-sha-256>.

#### References

1. Bezpeka Internet-bankinghu v Ukraini: praktichni aspekty [Elektronnyj resurs]. – URL: [https://bankchart.com.ua/e\\_banking/statti/bezpeka\\_internet\\_bankingu\\_v\\_ukraini\\_praktichni\\_aspekti](https://bankchart.com.ua/e_banking/statti/bezpeka_internet_bankingu_v_ukraini_praktichni_aspekti).

2. Gheseleva N.V. Informacijna sistema pidtrymky elektronnykh platezhiv cherez Internet / N.V. Gheseleva, Gh.V. Pronjuk, V.V. Dobrovolskyj // Ekonomika i suspilstvo, 2018. – Vypusk #14. – S. 1005–1010.

3. Umovy nadannja bankivskjykh poslugh z vykorystannjam system dystancijnogho obslughovuvannja [Elektronnyj resurs]. – URL: [https://www.bisbank.com.ua/wp-content/uploads/2020/08/dodatok-7-umovy\\_system\\_dist\\_obslugov\\_z-11.05.2019-do-05.07.2019.pdf](https://www.bisbank.com.ua/wp-content/uploads/2020/08/dodatok-7-umovy_system_dist_obslugov_z-11.05.2019-do-05.07.2019.pdf)

4. Systema «iBank 2» dlja korporativnykh klientiv. [Elektronnyj resurs]. – URL: [https://ibank.otpbank.ru/Corporate\\_Internet-Banking\\_Guide.pdf](https://ibank.otpbank.ru/Corporate_Internet-Banking_Guide.pdf).

5. Khatri P. The importance of cyber security in banking [Elektronnyj resurs]. / Prem Khatri: Vice President of Operations, Chetu, Inc. – The Global Treasurer, Categories: Banking Cyber Security & Fraud Technology. – September 25, 2019. – URL: <https://www.theglobaltreasurer.com/2019/09/25/the-importance-of-cyber-security-in-banking/>.

6. Ghorycjkij V.M. Gheneracija vypadkovykh poslidovnostej dlja system upravlinnja kljuchamy / V.M. Ghorycjkij, O.V. Snjezhok, M.S. Vysochinenko // Suchasnyj zakhyst informaciji, 2012. – #4. – S. 88–95.

7. Ghrynenko T. O. Kvantovi gheneratory vypadkovykh chysel v kryptoghrafiji / T. O. Ghrynenko, O. P. Narjezhnij // Systemy obrobky informaciji. – 2015. – Vyp. 10. – S. 86–89.

8. Heat transfer and entropy generation in a microchannel with longitudinal vortex generators using nanofluids / Amin Ebrahimia, Farhad Rikhtegar, Amin Sabaghana, Ehsan Roohia Energy // Energy. – Volume 101, 15 April 2016. – P. 190–201.

9. Faure E. V. Syntez i analiz psevdovypadkovykh poslidovnostej na osnovi operacij kryptoghrafichnogho peretvorennya / E. V. Faure, S. V. Sysojenko, T. V. Myronjuk // Systemy upravlinnja, navighaciji ta zv'jazku. – 2015. – Vyp. 4. – S. 85–87.

10. Toward sensorbased random number generation for mobile and IoT devices / K. Wallace, K. Moran, E. Novak, G. Zhou, K. Sun // IEEE Internet Things J. – Dec. 2016. – Vol. 3, # 6. – P. 1189–1201.

11. Demskyi O.O. Metod realizatsii heneratora vypadkovykh chysel / O.O. Demskyi, V.O. Boichuk // «Intelektualnyi potentsial – 2018» - zbirnyk naukovykh prats molodykh naukovtsiv i studentiv z nahody 30-richchia pidhotovky IT- fakhivtsiv v KhNU. – Khmelnytskyi: PVNZ UEP, 2018. – Ch.3: Kiberbezpeka ta aktualni problemy kompiuternykh system i merezh. – S. 40–44.

12. Modelj gheneratora kryptokljuchiv z dzherelamy entropiji dlja systemy klient-bank / V. S. Orlenko, V. M. Cheshun, O. S. Androshhuk, A. I. Katajeva // Mizhnarodnyj nauково-tehnikhnyj zhurnal «Vymirjuvalna ta obchysljuvalna tekhnika v tekhnologichnykh procesakh» – 2020. – # 2. – S. 103–112.

13. Cheshun V. M. Ocinka efektyvnosti roboty gheneratora kryptokljuchiv pidvyshhenoji entropiji dlja systemy klient-bank / V. M. Cheshun, V. I. Chornenjkij, V. V. Jackiv // Zbirnyk naukovykh pracj molodykh naukovciv i studentiv «Intelektualnij potentsial – 2020». – Khmelnycjkij: PVNZ UEP, 2020. – Chastyna 2. – S. 84–93.

14. Lane Wagner, How SHA-2 Works Step-By-Step (SHA-256) / Published July 8, 2020. [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://qvault.io/2020/07/08/how-sha-2-works-step-by-step-sha-256>.

Рецензія/Peer review : 07.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

## ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ І СТАБІЛЬНОСТІ ЗАВАДОСТІЙКИХ БЕЗПРОВОДОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО–КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*В роботі запропоновано підходи для збільшення доступності комунікаційних послуг та ймовірності правильного і завадостійкого їх прийому. Завадостійкі безпроводові канали передачі інформації застосовують нові технології, які дозволяють у режимі реального часу гарантувати підвищення доступності комунікаційних послуг для якісної та вірогідної передачі інформації в умовах впливу різнотипних завад. Такі канали забезпечують необхідні значення показників вірогідної передачі різнотипної завадостійкої інформації, що здійснюється за рахунок використання необхідного типу кодування. Тому, знаючи всі ці властивості сигналів та завад, види комунікаційних послуг, можна встановити відмінності між ними та використати їх для розроблення способів і методів забезпечення функціональності і стабільності завадостійких безпроводових інформаційно–комунікаційних систем для доступності цих послуг. Отримані результати дослідження дають можливість забезпечувати послуги комунікаційної системи із необхідною якістю, достовірністю і орієнтовані на подолання низької завадостійкої передачі потоків інформації.*

*Ключові слова: захист інформації, завадостійка передача даних, безпроводовий зв'язок, інформаційно–комунікаційна система.*

V.M. DZHULIY, Y.P. KLOTS, V.S. ORLENKO, V.Y. TITOVA, Y.V. KHMELNYTSKYI  
Khmelnytsky National University

## IMPROVING THE FUNCTIONALITY AND STABILITY OF WIRELESS INFORMATION-COMMUNICATION SYSTEMS

*In modern conditions, the volume of transmission of various types of information in wireless information and communication systems is significantly increasing, although modernization and consolidation of their structure occurs practically only in the process of their expansion or inability to ensure the required level of quality of communication services. The popularity of modern information services, services, social networks is causing an increase in media information. The real speed of Internet access is growing rapidly, which affects the resources of wireless networks at the local and global levels. Therefore, there are contradictions between the available share of the resource and the need to provide all users with access to wireless information networks. An effective way to resolve this contradiction in terms of loss of requests for communication services is to increase the number of stations by sealing their structure in all segments of the wireless network architecture.*

*The paper proposes approaches to increase the availability of communication services and the probability of their correct and noise-tolerant reception. Interference-resistant wireless information transmission channels use new technologies that allow in real time to ensure increased availability of communication services for high-quality and reliable transmission of information in the face of various types of interference. Such channels provide the required values of the indicators of the probable transmission of various types of noise-tolerant information, which is carried out through the use of the required type of coding. Therefore, knowing all these properties of signals and interference, types of communication services, you can distinguish between them and use them to develop ways and methods to ensure the functionality and stability of noise-resistant wireless information and communication systems for access to these services. The obtained results of the research make it possible to receive the services of the communication system with the required quality, reliability and focused on overcoming the low quality of information flows through wireless channels with interference.*

*Keywords: information protection, noise-tolerant data transmission, wireless communication, information-communication system.*

### Вступ

В сучасних умовах значно збільшуються об'єми передавання різнотипної інформації в безпроводових інформаційно-комунікаційних системах, хоча модернізація та ущільнення їх структури відбувається, практично, лише у процесі їх розширення чи за неможливості забезпечення необхідного рівня якості надання комунікаційних послуг вже відомими засобами. Популярність же сучасних інформаційних послуг, сервісів, соціальних мереж спричиняє зростання об'ємів медійної інформації. Реальна швидкість доступу до мережі Інтернет стрімко зростає, що позначається на ресурсах безпроводових мереж локального та глобального рівня. Тому виникають протиріччя між доступною часткою ресурсу та потребою надання усім користувачам доступу до безпроводових мереж передачі інформації. Ефективним способом розв'язання такого протиріччя із точки зору втрат запитів на комунікаційні послуг є збільшення кількості станцій ущільненням їх структури в усіх сегментах архітектури безпроводової мережі.

Динамічний характер доступу до навантаження призводять до того, що такий комунікаційний підхід є надзвичайно складним та дорогим. У безпроводовій системі передачі інформації з погляду постачальників комунікаційних послуг фінансова та економічна ефективність такої системи завжди превалює над технічною доцільністю, тому в архітектурі системи передачі вони нарощують кількість станцій тільки у тих місцях, де перевантаження мають досить регулярний характер. Підвищення доступності комунікаційних послуг для користувачів у безпроводових мережах зв'язку в умовах пікових їх навантажень значною мірою залежить від її ефективності та методів і алгоритмів керування послугами та ресурсами. Більша частина роботи по підвищенню доступності послуг досягається завадостійкими інформаційно-комунікаційними системами і пов'язана із балансуванням навантаження системи.

На сьогодні не до кінця розв'язаними є завдання їх динамічного розподілу за навантаженням та ресурсами, при якому одночасно можуть використовуватись більша частина кількості доступних послуг та ресурсів безпроводової мережі. При цьому повинні враховуватись вимоги до якості надання таких послуг та ефективності використання каналів передачі інформації. Тому розроблення методів та алгоритмів

підвищення доступності комунікаційних сервісів та послуг шляхом використання завадостійких безпроводових систем передачі інформації та використання балансування навантаження під час пікових їх навантажень на окремі сегменти із забезпеченням вимог якості надання комунікаційних послуг без залучення додаткових ресурсів на сьогодні є актуальним науковим завданням.

### **Постановка задачі**

У результаті проведеного дослідження визначено, що великої актуальності методи та алгоритми підвищення доступності комунікаційних сервісів набувають в умовах сучасної інформаційної боротьби, оскільки окремі комунікаційні платформи можуть використовувати важливі підконтрольні мережеві елементи, відсутність контролю за діяльністю яких впливатиме на стабільність та якість доступу до інформаційного простору. Загальний сегмент комунікаційних платформ, незалежно від місця їх розташування, масштабів та видів діяльності, потребує побудови архітектури, що не залежить від операторів комунікацій. А це досягається такими системами у разі їх конкретного застосування, у тому числі – в розподіленому режимі. Дослідження в роботі пов'язані з підвищенням доступності комунікаційних послуг передачі інформації в мережах безпроводового доступу та в умовах пікових навантажень на її окремі сегменти. Тут велику роль грає алгоритм балансування навантаження у безпроводовій мережі передачі інформації, що дає змогу зменшити втрати запитів доступу до комунікаційних послуг в умовах граничних навантажень на окремі сегменти мережі. Підвищення доступності послуг досягається також можливістю перенесення частки навантаження у процесі його балансування, що враховує швидкість доступу користувачів, вимоги до якості надання комунікаційних послуг та ефективність використання їх каналів передачі. Також велику роль буде грати методика пошуку напрямків поетапного перенесення користувацького навантаження, що враховує кількість проміжних секторів та сегментів мережі, завантаженість яких не змінюється у процесі балансування. У процесі роботи та функціонування на комунікаційні системи впливають різні фактори і компоненти, що порушують їх нормальну роботу і можуть призводити до порушення роботи різних каналів та ліній передачі інформації, фізичного виходу із ладу компонентів і елементів та інших негативних наслідків. У результаті вони переходять до стану, в якому не можуть забезпечуватись процеси доступу та доставки інформації. Сучасна інформаційно-комунікаційна система повинна мати здатність протистояти впливам, які порушують її роботу, і забезпечувати стійкість роботи, що може бути забезпечено завадостійкими безпроводовими системами передачі інформації. Загалом, реальна завадостійкість - це є завадостійкість комунікаційної системи чи окремих її сегментів із врахуванням реальної її роботи та настройки окремих блоків каналів передачі інформації. Не всі сегменти каналів передачі інформації можна виготовити ідеальними та з визначеними параметрами. Таки чином, тільки при забезпеченні стабільності усіх характеристик та властивостей комунікаційна система може виконувати своє основне функціональне призначення – забезпечувати доступ та доставку потоків інформації в необхідному обсязі, з необхідною якістю та її вірогідністю. Дослідження та аналіз вже існуючого обладнання, стану та методів забезпечення завадостійкої доставки даних в інформаційно-комунікаційних системах свідчить, що перспективним напрямком вирішення різноманітних проблем забезпечення доступу та вірогідності потоків інформації в існуючих умовах невизначеності, перешкод та завад, є застосування структурної і параметричної адаптації системи з врахуванням захищеності та невизначеності.

### **Основна частина**

Для підвищення доступності та оптимізації комунікаційних процесів на основі послуг сервісних систем на сьогодні розроблена значна кількість застосувань у вигляді електронних послуг на основі мереж доступу [1]. Користувачі електронних послуг та сервісів є учасниками самого процесу їх одержання та інформаційного обміну. Доступ, взаємодія та комунікації – це основні проблемні області, що стосуються діяльності розподілених суб'єктів, а також забезпечення надання різного роду електронних послуг та сервісів, які націлені на їх індивідуальне використання. Розгортання сучасних комунікаційних засобів та оптимізація їх комунікаційних платформ підвищують ефективність управління та функціонування сучасних сервісних систем, особливо для випадку оброблення потоків завадостійкими системами передачі інформації у реальному часі, а також дозволяють суб'єктам комунікацій розв'язувати поставлені перед ними завдання на якісно новому рівні, впроваджуючи масштабовані розподілені системи обчислення для надання електронних послуг та сервісів. Проте, володіння покращеними засобами комунікації та взаємодії у розподілених безпроводових системах не дає гарантій зростання продуктивності доступу для цих організаційних систем. Розвиток сучасних IP-технологій призводить до значного підвищення ефективності діяльності користувачів, проте взаємодія через комунікаційні системи реального часу між сегментами мережі для груп користувачів досі стикається із певними обмеженнями, які при трансформації можуть стати особливо відчутними для неспеціалізованих сервісних систем у програмно-апаратних комплексах. Досить позитивні тенденції у розв'язанні цього питання виникають при впровадженні технологій повсюдного інформаційного доступу, а також наскрізного проникнення IP-комунікацій через усі рівні сервісних систем. Для досягнення максимальної ефективності доступу для своєї діяльності кінцеві користувачі безпроводових мереж повинні чітко координуватися у рамках розподіленої мережевої сервісної інфраструктури для підвищення доступності інформаційних послуг у реальному часі [2].

Проблематика підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими системами передачі інформації та ефективного управління такими розподіленими сервісними платформами визначає основні вимоги до їх систем керування. Сучасні безпроводові системи, як правило складаються із різного мережевого обладнання (маршрутизатори, мости, комутатори тощо) які взаємодіють із зовнішнім та внутрішнім середовищем сервісних систем. Такий підхід отримав загальну назву Cloud Enabled Networking (CEN) – хмарні мережі. У такому середовищі все обладнання сервісних платформ взаємопов'язане через різноманітні сегменти та топологічні конфігурації мереж. Система управління такими сервісними

платформами здатна автоматично визначати усі мережеві пристрої та мати всю інформацію про її структуру. Топологічна структура сервісних платформ не зазнає різних змін, проте, якщо ми переходимо до CBN мереж, то стає динамічною у межах її взаємодії з обладнанням (через мережу доступу до потоків інформації). Усі структурні та архітектурні зміни повинні фіксуватися відповідними системами управління через мережевий моніторинг [3]. Ще одним питанням є масштабне впровадження новітніх послуг використовуючи завадостійких інформаційно-комунікаційних систем та розподілених електронних сервісів, які призводять до виникнення протиріччя впровадження повсюдного інформаційного доступу при скороченні споживання обчислювальних ресурсів у їх хмарних сервісних системах. Розширення переліку та обсягу інформаційного доступу та задач оброблення потоків інформації призвело до ситуації, коли останні повинні розв'язуватись у рамках надання їм розподілених послуг та сервісів. Сучасні інформаційно-комунікаційні системи виявляються досить складними, зокрема, у аспекті управління ними. Сучасні методологічні та технічні засоби не можуть забезпечити достатній рівень її функціональної завадостійкості і якості управління нею із метою оптимізації її продуктивності [4].

Сьогодні кількість пропозицій нових інноваційних послуг (мультисервісні комунікаційні послуги, віддалене голосування, мікро-платежі, самообслуговування електронними сервісами, системи електронного урядування, прогнозування потреб користувачів тощо) продовжує збільшуватися. У середовищах сервісних платформ наступного покоління надавачі послуг пропонують застосування і засоби, що використовують стандартизовані елементи відомого програмного забезпечення та готові комерційні пакетні пропозиції програмних рішень. У таких системах доступ до електронних сервісів та взаємодія сервісних елементів відбувається, зазвичай, на основі IP-технологій, стандартизованих застосувань та їх інфраструктури, які адаптуються під кожного окремо взятого користувача мережі. Оскільки потоки інформаційних даних та топології її керування не завжди є синхронними, вони мають бути представлені незалежно. Для підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими інформаційно-комунікаційними системами використовують спільні ресурси та сервери, які можуть експлуатуватися великою кількістю їх клієнтів. Деякі компоненти такої системи доступу можуть бути як клієнтами, так і серверами.

Механізм підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими інформаційно-комунікаційними системами використовує програмне забезпечення, яке перетворює потоки даних кілька разів. У результаті утворюється потік інформаційних запитів, які проходять через фільтри, що змінюють дані цих запитів у правильному порядку для системи доступу, де компоненти узгоджують свою взаємодію завдяки оголошенню повідомлень чи подій. Самі ж компоненти можуть дати запит на різну сукупність подій. У даному випадку будь-який компонент може як публікувати, так і підписуватися. Компонент, що публікує, повинен надати зручні доступні інформаційні послуги для своїх користувачів. Для вирішення питання підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими системами використовуємо формулу для розрахунку оцінювання ризику якості та завантаження системи, яка базується на фіксованій технології множинного доступу та схеми балансування навантаження у мережі. Різні схеми балансування можуть мати різні методи чи значення порогу для визначення рівня завантаження мережі. Балансування навантаження у комунікаційній мережі може бути запущене, коли навантаження дорівнює чи вище порогу надмірного завантаження. У багатьох відомих схемах балансування навантаження цей крок ґрунтується на навантаженні окремого каналу передачі з урахуванням небажаних впливів. Загалом, існуючі схеми балансування навантаження ділять на дві категорії [5]: схеми перерозподілу каналів передачі та схеми переміщення навантаження. Ідея схеми перерозподілу каналів передачі полягає у тому, що канал запозичує частину вільного спектру від сусідніх каналів. Схеми перерозподілу каналів передачі підходять для безпроводових мереж із коефіцієнтом повторного використання частоти більше 1, де сусідні канали використовують різний спектр частот передачі. Для оцінювання ризику системи підвищення доступності послуг та якості функціонування комунікаційної системи використовують величину середньозваженого модуля відхилення ризику доступності  $\Delta Z$  (при  $n=8$ ):

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^n p_i \cdot k \cdot (Z_i - \bar{Z}) \quad \bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (1)$$

де  $R$  – величина ризику доступності;  $p_i$  – ймовірності небажаних впливів каналу передачі інформації;  $k$  – коефіцієнт доступності;  $Z_i$  – величини втрат каналу передачі.

Далі визначається середньоквадратичне відхилення ризику доступу [6]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (2)$$

Якщо взяти до уваги коефіцієнт доступності та негативні відхилення від запланованих параметрів від параметру  $\bar{Z}$ , то ступінь доступності та функціонування захисту інформації комунікаційної системи завадостійкими каналами оцінюється показником варіації  $S_z$  і його необхідне значення визначається за допомогою співвідношення:

$$S_z = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2 \cdot I_{vi}} / \sum_{i=1}^n p_i \cdot I_{vi} \quad (3)$$

де  $I_i = \{I_{vi}\}$  – індикатор несприятливих відхилень доступності комунікаційної системи, якому відповідають: для сприятливого відхилення  $I_{vi}=0$  і для несприятливого відхилення  $I_{vi}=1$ .

Також показником оцінювання підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими системами передачі інформації в комунікаційних системах може бути коефіцієнт підвищення доступності та можливих втрат у каналах передачі, який враховує обсяг втрат доступності по

відношенню до суми абсолютних значень ймовірних втрат у завадостійких системах [7]:

$$K_{DZ} = M_{ZV} / (M_{ZV} + M_{ZP}). \quad (4)$$

де  $M_{ZV}$ ,  $M_{ZP}$  – ймовірні величини сприятливих та несприятливих відхилень доступності комунікаційних послуг відносно значень показників  $\theta_V$ ,  $\theta_P$  при розгляді запланованих рівнів доступу при передачі потоків інформації  $Z$  та вже позитивних результатів.

Для підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими інформаційно-комунікаційними системами необхідно розглядати завадостійкість комунікаційної мережі як здатність такої системи протидіяти різним завадам, а для цього треба знати, чим і як їм протидіяти. Для боротьби із такими завадами для підвищення доступності комунікаційних послуг потрібні усі апріорні відомості про властивості їх носія інформації та про самі завади, які можуть впливати на канал передачі. До таких важливих властивостей можливо віднести:

- величини струму і напруги вхідних сигналів та завади у каналі інформаційно-комунікаційної системи;
- середні рівні потужності сигналів та завад у такій системі;
- види та структура механізмів передачі інформації у комунікаційній системі;
- закон розподілу сигналу передачі інформації тощо.

Дослідження [8] показують, що при розгляді методів і засобів забезпечення та підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими системами передачі та захисту потоків даних в інформаційно-комунікаційних системах необхідно визначити, що являє собою передача різного типу та роду повідомлень між пунктами. В технологіях та засобах доступності комунікаційних послуг і захисту інформації семантична особливість повідомлень не враховується – задачею системи передачі інформації в комунікаційній системі є транспортування потоку даних завадостійкими каналами у визначене місце (оцінка змісту повідомлень це справа самого одержувача). У процесі функціонування на комунікаційні системи впливає множина різних факторів, що порушують нормальну роботу каналів передачі. Всі ці фактори призводять до порушення доступу до комунікаційних послуг і роботи самих каналів передачі, фізичного виходу з ладу різних елементів та компонентів комунікаційних систем та інших негативних наслідків. Сама ж основа теорії потенційної завадостійкості та захищеності була розроблена академіком В.О. Котельниковим. У ній вирішуються такі основні задачі передачі інформації по завадостійких каналах:

- синтез оптимального приймача (правил його роботи та структурної його схеми, що забезпечують найкращу якість приймання потоків інформації);
- аналіз роботи оптимального приймача (обчислення якості приймання потоків сигналів, яка забезпечується приймачем захищеної інформації);
- порівняння потенційної і реальної завадостійкості й захищеності інформаційно-комунікаційної системи.

Один із методів підвищення доступності комунікаційних послуг – шлях використання неперервних сигналів та оптимальний раціональний вибір виду модуляції сигналів потоків інформації [9]. Види модуляції мають різну завадозахищеність і стійкість. Застосовуючи різні види та типи модуляції, які забезпечують значне розширення смуги полоси частот сигналу, можливо досягти значного підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими каналами передачі інформації в комунікаційній системі [110]. Також способом підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими каналами передачі інформації для дискретних систем є використання спеціального виду кодування потоків інформації – це використання завадостійких кодів та завадозахищених каналів передачі [11, 12]. Підвищення доступності комунікаційних послуг та забезпечення завадостійкості передачі і оброблення інформації може бути досягнуто також шляхом багаторазового повторення передачі потоків інформації. Завадостійке приймання інформації захищеними каналами полягає у використанні надмірності отриманої інформації, використання апріорних відомостей про сигнали та завади у каналах.

Аналіз методів, способів та засобів забезпечення і підвищення доступності комунікаційних послуг завадозахищеними безпроводовими каналами передачі інформації в інформаційно-комунікаційних системах показує, що завдання для їх оптимального прийому полягає у використанні властивостей їх корисного сигналу, типів і видів завад та вибору каналу передачі інформаційних потоків для збільшення ймовірності правильного прийому. Також, для збільшення ймовірності правильного прийому комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими системами передачі інформації має бути проведене попереднє оброблення усіх прийнятих сигналів, яке забезпечує відносне збільшення відношення сигналів та завад. Це досягається багаторазовим повторенням сигналу та накопиченні окремих його реалізацій у приймальному пристрої завадостійкої системи. Для підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими та завадозахищеними каналами передачі інформації величину співвідношення сигналу та завад можна суттєво підвищити, якщо використати різницю між їх кореляційними функціями.

#### Висновки

Таким чином, на основі досліджень та аналізу методів підвищення доступності комунікаційних послуг завадостійкими безпроводовими каналами передачі даних інформаційно-комунікаційних систем, можливо зробити висновок, що завдання підвищення доступності послуг при оптимальному та якісному захисті потоків даних полягає у використанні всіх властивостей таких корисних сигналів, завад та каналів передачі для підвищення доступності комунікаційних послуг та ймовірності їх правильного прийому. Для збільшення доступності комунікаційних послуг та ймовірності правильного і завадостійкого їх прийому має бути проведене попереднє оброблення таких сигналів, що забезпечує значне збільшення відношення сигналів та завад. Завадостійкі безпроводові канали передачі інформації застосовують нові технології, які дозволяють у режимі роботи в реальному часі гарантувати підвищення доступності комунікаційних послуг для якісної та вірогідної передачі потоків даних в умовах впливу різнотипних завад. Це забезпечує необхідні

значення показників вірогідності завадостійкої передачі, що здійснюється за рахунок використання необхідного виду та типу кодування. Знаючи всі властивості сигналів та завад, види та типи комунікаційних послуг, можна встановити певні відмінності між ними і використати їх для розроблення способів та методів забезпечення завадостійкої передачі для доступності таких послуг. Застосування подібних методів, способів та засобів побудови сучасних завадостійких каналів безпроводових інформаційно-комунікаційних систем в умовах дії завад, дозволить будувати надійні канали передачі даних та підвищити доступність послуг.

### Література

1. Khanzadi, M. Reza Phase Noise in Communication Systems Modeling, Compensation, and Performance Analysis / Göteborg: Chalmers University of Technology. – 2015. – 66 p.
2. Хмельницький Ю.В. Забезпечення вірогідної передачі інформації при впливі перешкод в телекомунікаційних мережах / Ю.В Хмельницький, Г.Б.Жиров, Н.В. Кульпак // Збірник наукових праць Військового інституту Київського НУ імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2018. – Вип. № 59. – С. 161-170
3. Інформаційні основи побудови телекомунікаційних мереж / В. В. Казимир, В.В. Литвинов, С.М. Шкарлет, С.В. Зайцев // Вісник Чернігівського ДТУ. – Чернігів : ЧД ТУ, 2013. – 340 с.
4. Хмельницький Ю.В. Забезпечення достовірності передачі інформації та сервісних послуг для високошвидкісних мереж при завадах / Ю.В Хмельницький, Д.П. Яковлев // Збірник наукових праць Військового інституту Київського НУ імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2017. – Вип. № 57. – С. 111-119
5. Аналіз моделей та прогнозування ризиків функціонування системи управління SDN архітектури / Ю.В Хмельницький, О .В. Селюков, Д.М. Ковпа, О.С. Лісовецький // Збірник наукових праць Військового інституту Київського нац. університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2019. - № 64. – 113-134 с.
6. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій / В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я.Костік, В.Ф.Олійник, С.М.Скляренко // Підручник для ВНЗ. – К.: Техніка, 2007. – 384 с.
7. Методи та засоби забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних мережах / Ю.В Хмельницький, О.А. Каблуков, Л.О. Ряба, Л.В. Солодєєва, А.О. Ткач // Збірник наукових праць Військового інституту Київського НУ імені Тараса Шевченка. - К.: ВІКНУ, 2019. - № 64. – 133-144 с.
8. Development of methods to improve noise immunity in the fifthgeneration mobile networks based on multiposition signals / V. Tolubko , L. Berkman, E. Gavrilko, O. Barabash, O. Kilmenninov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol 6, No 9 (96). – P. 6-16.
9. Cognitive security of wireless communication systems in the physical layer / Mustafa Harun Yılmaz , Ertuğrul Güvenkaya, Haji M. Furqan, Selçuk Köse, Hüseyin Arslan // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2017. – Volume 2017.– Article ID 3592792.
10. Vyboldin Yu. K. Noise immunity of signal demodulation procedure in binary coded communication channels with a frequency-position multiplexing / Yu K Vyboldin and S V Borisov // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1384. – P. 1-5.
11. An efficient emerging network and secured hopping scheme employed over the unsecured public channels / Aamir Shahzad, Kaiwen Zhang, René Landry, Jr, Neal Xiong, Young-Gab Kim // International Journal of Distributed Sensor Networks. – April 10, 2020. – P. 1-18.
12. Methods of previous coding, that uses in systems of radio special purpose with massive-mimo technology /I. Romanenko, A. Shyshatskyi, O. Kuvshinov, R. Pikul // Advanced Information Systems. 2018. Vol. 2, No. 1. – P.100-104.

### References

1. Khanzadi, M. Reza Phase Noise in Communication Systems Modeling, Compensation, and Performance Analysis / Göteborg: Chalmers University of Technology. – 2015. – 66 p.
2. Khmelnytskyi Ju.V. Zabezpechennja viroghidnoji peredachi informaciji pry vplyvi pereshkod v telekomunikacijnykh merezhakh / Ju.V Khmelnytskyi, Gh.B.Zhyrov, N.V. Kulypak // Zbirnyk naukovykh pracj Vijsjkovogho instytutu Kyjivsjkogho NU imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU, 2018. – Vyp. # 59. – S. 161-170
3. Informacijni osnovy pobudovy telekomunikacijnykh merezh / V. V. Kazymyr, V.V. Lytvynov, S.M. Shkarlet, S.V. Zajcev // Visnyk Chernighivsjkogho DTU. – Chernighiv : ChD TU, 2013. – 340 s.
4. Khmelnytskyi Ju.V. Zabezpechennja dostovirnosti peredachi informaciji ta servisnykh poslugh dlja vysokoshvydkisnykh merezh pry zavadakh / Ju.V Khmelnytskyi, D.P. Jakovljev // Zbirnyk naukovykh pracj Vijsjkovogho instytutu Kyjivsjkogho NU imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU, 2017. – Vyp. # 57. – S. 111-119
5. Analiz modelej ta prohnozuvannja ryzkyv funkcionuvannja systemy upravlennja SDN arkhitektury / Ju.V Khmelnytskyi, O .V. Sjeljukov, D.M. Kovpa, O.S. Lisoveckij // Zbirnyk naukovykh pracj Vijsjkovogho instytutu Kyjivsjkogho nac. universytetu imeni Tarasa Shevchenka. - K.: VIKNU, 2019. - # 64. – 113-134 s.
6. Upravlinnja telekomunikacijamy iz zastosuvannjam novitnikh tekhnologhij / V.Gh. Kryvuca, V.K. Steklov, L.N. Berkman, B.Ja.Kostik, B.F.Olijnyk, S.M.Skljarenko // Pidruchnyk dlja VNZ. – K.: Tekhnika, 2007. – 384 s.
7. Zastosuvannja intelektualnykh tekhnologhij dlja pidvyshhennja jakosti roboty telekomunikacijnykh merezh pry nevyznachenosti / O. V. Seljukov, Ju. V. Khmelnytskyi, I. V. Obertjuk, L. V. Solodjejeva // Zbirnyk naukovykh pracj Vijsjkovogho instytutu Kyjivsjkogho NU imeni Tarasa Shevchenka, – K.: 2017. - Vyp. 56. - S. 146-153.
8. Development of methods to improve noise immunity in the fifthgeneration mobile networks based on multiposition signals / V. Tolubko , L. Berkman, E. Gavrilko, O. Barabash, O. Kilmenninov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol 6, No 9 (96). – P. 6-16.
9. Cognitive security of wireless communication systems in the physical layer / Mustafa Harun Yılmaz , Ertuğrul Güvenkaya, Haji M. Furqan, Selçuk Köse, Hüseyin Arslan // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2017. – Volume 2017.– Article ID 3592792.
10. Vyboldin Yu. K. Noise immunity of signal demodulation procedure in binary coded communication channels with a frequency-position multiplexing / Yu K Vyboldin and S V Borisov // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1384. – P. 1-5.
11. An efficient emerging network and secured hopping scheme employed over the unsecured public channels / Aamir Shahzad, Kaiwen Zhang, René Landry, Jr, Neal Xiong, Young-Gab Kim // International Journal of Distributed Sensor Networks. – April 10, 2020. – P. 1-18.
12. Methods of previous coding, that uses in systems of radio special purpose with massive-mimo technology /I. Romanenko, A. Shyshatskyi, O. Kuvshinov, R. Pikul // Advanced Information Systems. 2018. Vol. 2, No. 1. – P.100-104.

Рецензія/Peer review : 23.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.



## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*Дослідження та осмислення штучного інтелекту є актуальним напрямком вітчизняної та зарубіжної науки. Системи штучного інтелекту активно впроваджуються у різні сфери суспільного життя, удосконалюють технологічні процеси та дозволяють вирішувати складні інтелектуальні завдання. Визначення методів та систем штучного інтелекту дозволяє більш ґрунтовно поглянути на сутнісні характеристики вказаного наукового напрямку та сформулювати концептуальні моделі і прийоми щодо реалізації отриманих знань на практиці.*

*У статті розглянуто різноманітні методи та системи, які стосуються формування, розвитку та застосування моделей штучного інтелекту. Розкрито класифікаційні підходи до визначення основних напрямів та методів штучного інтелекту у вітчизняній науковій думці. Звернуто увагу на взаємозв'язок процесу використання методів та систем штучного інтелекту у процесі прийняття рішень, вирішення завдань, побудові сучасних технологій, обслуговуванні технологічних процесів.*

*Необхідність проведення високоефективних досліджень та впровадження інноваційних технологій вимагають чіткого розуміння та вдосконалення існуючих методів та систем штучного інтелекту, адже від цього залежить розвиток різних сфер суспільного життя. Зважаючи на позитивну динаміку впровадження елементів штучного інтелекту у розробку технологій сучасності, дослідження фундаментальних питань штучного інтелекту, інтелектуальних систем залишатиметься вагомим напрямком наукових пошуків.*

*Методи штучного інтелекту поєднують методи аналізу та синтезу, методи обчислювального інтелекту, моделювання та прогнозування, методи пошуку рішень та представлення завдань та багато інших. Поняття та особливості систем штучного інтелекту у свою чергу розкривається завдяки нейронним мережам, системам нечіткої логіки, експертним системам, системам моделювання мислення.*

*Методам та системам штучного інтелекту відводиться важливе значення у створенні та здобутті нових знань, розвитку інформаційних систем, вдосконаленні та побудові електронних пристроїв та роботів. Актуальні вимоги до розвитку інтелектуальних технологій включають високі стандарти організації і застосування систем, які базуються на штучному інтелекті, його методах та алгоритмах.*

*Дослідження вказаної проблематики демонструє, що існуючі методи штучного інтелекту не мають чіткої визначеності, оскільки штучний інтелект знаходиться в постійному процесі розвитку та виконання інтелектуальних функцій. Узагальнення основних напрямів, методів та систем штучного інтелекту дозволить прослідкувати динаміку розвитку інформаційних систем та технологій.*

*Ключові слова: штучний інтелект, методи та системи, інформаційні технології, математичні моделі.*

BATAREYEV VIKTOR

State University of Economics and Technology

## METHODS AND SYSTEMS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*Research and understanding of artificial intelligence is a topical area of domestic and foreign science. Artificial intelligence systems are actively implemented in various spheres of public life, improve technological processes and allow to solve complex intellectual problems. The definition of methods and systems of artificial intelligence allows a more thorough look at the essential characteristics of this scientific field and to form conceptual models and techniques for the implementation of acquired knowledge in practice.*

*The article considers various methods and systems related to the formation, development and application of artificial intelligence models. Classification approaches to the definition of the main directions and methods of artificial intelligence in the domestic scientific thought are revealed. Attention is paid to the relationship between the process of using methods and systems of artificial intelligence in decision-making, problem solving, construction of modern technologies, maintenance of technological processes.*

*The need for highly effective research and the introduction of innovative technologies require a clear understanding and improvement of existing methods and systems of artificial intelligence, because it depends on the development of various spheres of public life. Given the positive dynamics of the introduction of elements of artificial intelligence in the development of modern technologies, the study of fundamental issues of artificial intelligence, intelligent systems will remain an important area of scientific research.*

*Artificial intelligence methods combine methods of analysis and synthesis, methods of computational intelligence, modeling and forecasting, methods of finding solutions and presenting problems and much more. The concept and features of artificial intelligence systems, in turn, are revealed through neural networks, fuzzy logic systems, expert systems, thinking modeling systems.*

*Methods and systems of artificial intelligence are important in the creation and acquisition of new knowledge, development of information systems, improvement and construction of electronic devices and robots. Current requirements for the development of intelligent technologies include high standards of organization and application of systems based on artificial intelligence, its methods and algorithms.*

*The study of this issue demonstrates that the existing methods of artificial intelligence do not have a clear definition, because artificial intelligence is in a constant process of development and performance of intellectual functions. Generalization of the main directions, methods and systems of artificial intelligence will allow to trace the dynamics of development of information systems and technologies.*

*Key words: artificial intelligence, methods and systems, information technologies, mathematical models.*

### Постановка проблеми

Стрімкий розвиток інформаційних технологій та обчислювальних процесів зумовлюють необхідність чіткого розуміння та обґрунтування сучасних напрямків науки та техніки. Потужним інструментом прийняття рішень, які відіграють значення для прогресивного науково-технічного розвитку держави, є штучний інтелект. Вирішення надскладних завдань, пов'язаних із застосуванням технологічних процесів та наукових рішень напряму залежить від ефективного використання алгоритмів та систем штучного інтелекту.

Проблематика застосування методів та систем штучного інтелекту є новим напрямком прикладної науки, який повинен мати ґрунтовну теоретичну деталізацію. Зважаючи на потребу у розвитку інтелектуальних технічних систем, спрямованих на розв'язання нескладніших виробничих завдань, дослідження методів та систем є штучного інтелекту є актуальним напрямом наукових узагальнень та пошуків.

Наукове обґрунтування інноваційних моделей та систем штучного інтелекту пов'язується з дослідженнями Інституту проблем штучного інтелекту Міністерства освіти і науки України і Національної академії наук України, який розвиває теорію і практику інтелектуальних систем та технологій штучного інтелекту.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Дослідження проблематики розвитку технологій штучного інтелекту стало об'єктом вивчення багатьох вітчизняних вчених, таких як І.А. Твердохліб, С.М. Яцюк, О.В. Гладченко, М.М. Глибовець Н.І. Гаркуша, Н.В. Резнікова та багато інших. Ключові аспекти реалізації штучного інтелекту вивчаються в рамках навчально-наукових програм, висвітлюються у посібниках та наукових статтях. Разом із тим, опрацювання моделей та систем штучного інтелекту у науковій площині є недостатнім та неповноцінним.

**Метою роботи** є розкриття основних напрямів та методів розвитку систем штучного інтелекту відповідно до сучасних теоретичних обґрунтувань

Обрана мета передбачає виконання таких **завдань**:

- окреслення сучасного стану законодавчих та наукових ініціатив щодо розвитку методів та систем штучного інтелекту;
- визначення методів побудови штучного інтелекту та напрямів їх застосування;
- розкриття наукового бачення щодо розгляду систем штучного інтелекту;
- висвітлення напрямів застосування методів та систем штучного інтелекту.

#### **Виклад основного матеріалу**

Питання розвитку штучного інтелекту (ШІ) – одна з найбільш прогресивних течій у ХХІ столітті. У контексті стрімкого поширення тенденцій глобалізації, впровадження новинок у сфері технологій, відкритого діалогу між представниками наукової еліти, що стосується стратегічного планування у інформаційній сфері, питання обговорення проблематики використання штучного інтелекту є достатньо актуальним та виправданим.

Сучасні дослідження демонструють роль систем штучного інтелекту як «драйверів цифрової трансформації», які діють як у державному, так і приватному секторі; відзначається загальноприйнятність технологій штучного інтелекту, його переваги у різних сферах життєдіяльності [1].

Правове розуміння поняття штучного інтелекту закріплене у чинному законодавстві України, відповідно до якого, штучний інтелект є організованою сукупністю інформаційних технологій, із застосуванням якої можливо виконувати складні комплексні завдання шляхом використання системи наукових методів досліджень і алгоритмів обробки інформації (розпорядження КМУ від 2 грудня 2020 р. № 1556-р) [2]

Зі змісту законодавче визначеної дефініції категорії «штучний інтелект» випливає, що досліджуване поняття поєднує інновації у сфері технологій, які дозволяють вирішувати надскладні інтелектуальні завдання шляхом використання системи методів і алгоритмів.

Досліджуючи планувальні, моделювальні, управлінські аспекти розвитку системи штучного інтелекту Л. С. Ямпольський, Б. П. Ткач, о. І. Лісовиченко звернули увагу на те, застосування моделей штучного інтелекту передбачає розробку математичних, лінгвістичних (у широкому розумінні цих слів) методів і технічних засобів, які імітують функції людського мозку[3,с.22].

З огляду на функціональну спрямованість штучного інтелекту можна вважати, що для широкого впровадження ШІ у виробничу, наукову діяльність повинні використовуватися найбільш прогресивні методи вітчизняної науки, які б дозволили вирішувати складні виробничі завдання.

Штучний інтелект як система формується за допомогою багатьох методів, серед яких найбільш значимими вважають логічний, структурний, еволюційний, імітаційний[4,с.27-28].

Логічний метод – базується на алгебрі логіки, операціях з предикатами, які спрямовані на досягнення цілей та доведення теорем. Використання основ нечіткої логіки є одним з визначальних напрямів логічного методу.

Структурний підхід дозволяє розглянути ШІ крізь призму моделі людського мозку, моделюючи та відтворюючи його структуру. Еволюційний підхід надає змогу бачити розвиток змін початкової моделі (її еволюцію) та враховувати в подальшій технологічній діяльності. Імітаційний метод полягає в імітації поведінки об'єкта, логічного моделювання його діяльності шляхом зіставлень, порівнянь та відтворення. Базується на методі «чорного ящика», що введений американським кібернетиком У.Р. Уешбі. На сьогодні особлива увага надається комбінаційному методу, який використовується на нижніх рівнях ( обробка первинної інформації) і поєднує у собі риси структурного, еволюційного і імітаційного підходів та відповідає законам логіки [4, с.30].

Система методів штучного інтелекту немає чіткого закріплення, оскільки існує значна кількість напрямків та систем застосування моделей штучного інтелекту. Складність поставлених завдань та сфера використання інструментів штучного інтелекту дозволяє стверджувати, що методи штучного інтелекту поєднують методи аналізу та синтезу, методи обчислювального інтелекту, моделювання та прогнозування, методи пошуку рішень та представлення завдань та багато інших.

Не випадково О.А. Баранов вказує, що штучний інтелект передбачає функціонування сукупності програмних і апаратних методів, способів і засобів (комп'ютерних програм), які реалізують одну або кілька когнітивних функцій (КФ), які нагадують КФ людей [5].

Так, при оцінюванні ступеня інтелектуальності на рівні інтуїції ІІІ базується на методах експертних оцінок та тестування. [6, с.5]

Метод експертних оцінок дозволяє експертно дослідити об'єкт та прийняти кваліфіковане рішення, а тестування дозволяють оцінити інтелект шляхом проведення спеціальної перевірки у вигляді тесту.

Безумовним є використання методів математичної логіки, які базуються на формальних системах – логічному численні із застосуванням формул та правил виведення. При цьому, основою математичної логіки виступає числення висловлювань й числення предикатів. Звертаючись до теоретичних основ штучного інтелекту, слід зауважити, що опанування системи штучного інтелекту включають нечітку логіку, нейронні і гібридні мережі. Тому, для операцій з нечіткими знаннями використовують спеціальні методи, такі як метод нечіткої логіки.

Провівши дослідження процесу подолання невизначеностей у системі прийняття рішень, П.О. Кравець, Р.В. Киркало дійшли висновку, що виникає необхідність розробки методів керування вбудованими системами на основі правил нечіткої логіки, які в системі штучного інтелекту дозволять компенсувати виявлені суперечності [7, с.115, 123]

Системи штучного інтелекту залежать від сфери застосування сучасних технологій вирішення задач (створення автоматизованих систем, роботів, керування машинами, переклад чи структурування тексту тощо). Це змушує системи ІІІ до самонавчання та роботи з великими масивами даних.

На думку вчених, до систем штучного інтелекту слід віднести: 1) інформаційно-пошукові системи, які працюють в інтерактивному режимі на професійних мовах користувачів; 2) розрахунково-логічні системи – дозволяють вирішувати складні завдання з використанням складних математичних методів та прикладних програм; 3) системи проектування і наукових досліджень; 4) навчаючі системи (система освіти, інтелектуальні тренажери); 5) експертні системи – передбачають ефективну комп'ютеризацію галузей знань, для яких використання математичних моделей є ускладненим [8, с.126].

Значне розгалуження систем ІІІ зумовлене специфікою виконуваних завдань щодо побудови та функціонування вказаної галузі. Вирішення завдань в системах штучного інтелекту значною мірою пов'язується зі здійсненням пошукової діяльності, створенням інтелектуальних механізмів автономізації діяльності. Суттєвого обґрунтування вимагають також методи пошукової діяльності, які широко використовуються в системах штучного інтелекту.

Дослідники проблематики функціонування систем штучного інтелекту вказують на розподіл інтелектуальних систем на системи загального та спеціального призначення [9, с.9].

Системи загального призначення розв'язують значну кількість завдань: як основних, так і другорядних, не фокусуючись на виконання конкретних завдань. Системи спеціального призначення мають вузьку спрямованість та чітко закріплені перелік задач.

Науковці А. С. Савченко О. О. Синельников вказують, що стратегії пошуку передбачають моделі неінформованого та інформованого пошуку що здійснюється за напрямками прямого (йде від вихідного стану), зворотного (йде від цільового стану) та двонаправленого методу (передбачає пошук в прямому та водночас зворотному напрямку). Методи неінформованого пошуку поділяються на пошук в ширину і в глибину, які базуються на інформації у межах поставленого завдання. У свою чергу методи евристичного пошуку відображають відомості, які використовують попередній досвід та теоретичні висновки. [10, с.23]

Закріплені моделі та методи пошуку дозволяють швидко та якісно шукати ефективні рішення, вибираючи різні опції та шляхи вирішення задач. Відзначимо, що навіть при існуванні декількох варіантів вибору, пошукові моделі сприяють оптимальному вибору (найбільш сприятливому) шляхом використання, зокрема, попереднього досвіду або теоретичних висновків (евристичні методи). Позитивом використання, наприклад, методу двостороннього пошуку є оптимальність та повнота, незначний час пошуку, який дозволяє досягнути балансу у визначенні якості процесу завдяки швидкій перевірці його приналежності.

Проектування систем штучного інтелекту відбувається за участю як формальних (логічних) методів, які використовують теорію математичних обчислень, так і неформальних, які відступають від законів логіки.

Основні формальні методи передбачають, на думку Д.В. Лубко та С.В. Шарова використання простих силіогізмів, дедуктивних міркувань, індуктивних умовиводів, висновків за аналогією, основ нечіткої логіки, процедур резолюції, формальної граматики, теорії алгоритмів та теорії ймовірності [11, с.3].

Неформальні базуються на інтуїтивних переконаннях, невизначеності, абстракціях. Вказані методи мають перевагу у можливості швидкого вирішення ситуаційних завдань, однак при цьому втрачається якість досягнення цілей.

Актуальне дослідження тенденцій розвитку штучного інтелекту проведено Г. О. Андрощуком, який аналізує такі методи штучного інтелекту, як машинне навчання та нейронні мережі, їх здатність полегшити машинний переклад [12, с.89].

Дійсно, використання машинного навчання стало значним поштовхом у ефективному застосуванні штучного інтелекту. Вказаний метод розвивається динамічно та впливає на розвиток технологічних процесів, про що свідчить приріст патентних заявок.

Детальної уваги потребують найбільш актуальні напрями штучного інтелекту, які за допомогою різноманітних методів та алгоритмів реалізуються у системах ІІІ. Серед основних виділимо: 1) подання завдань та

розробка систем; 2) програмне забезпечення ШІ; 3) розуміння природної мови і рішення задач; 4) розпізнавання образів; 5) розробка природно-мовних інтерфейсів і машинний переклад; 6) робототехніка та інтелектуальні роботи (robotics); 7) машинне навчання і самонавчання; 8) автономне планування і складання розкладів; 9) автономне управління; 10) медична діагностика; 11) планування постачання; 12) ігри та машинна творчість [11, с.3].

Зазначені напрями потребують застосування спеціалізованих систем штучного інтелекту, які включають різноманітні методи та технології. Наприклад, для подання завдань та розробки систем використовуються алгоритми структурування знань, методи добування знань та інженерія знань. Програмне забезпечення ШІ виходить із застосування програмних засобів та баз знань. Розпізнавання образів передбачає застосування методів представлення інформації; машинне навчання та самонавчання впроваджує методи аналізу та узагальнення даних.

Наведені вище положення вкотре доводять, що система методів штучного інтелекту є розгалуженою і формується відповідно до напрямів та характеру поставлених завдань, сфер застосування. Повноцінне розуміння основ застосування штучного інтелекту залежить від якості та повноти досліджень вказаної галузі. Штучний інтелект покликаний зрозуміти та відтворити принципи інтелекту, продовжуючи при цьому навчатися та самовдосконалюватися.

Існують й інші підходи до розуміння напрямів, які визначають методи та системи штучного інтелекту, зокрема прагматичний та біонічний.

Прагматичний напрямок сфокусований на кінцевий результат розв'язання завдань, біонічний напрямок виходить з того, що, застосувавши у штучному середовищі людські моделі вирішення ситуації, то і результати будуть подібні до тих, які отримує людина [10, с.5].

Важливим є також і те, що прагматичний напрямок як напрям досягнення кінцевих цілей спрямований на створення дієвого інструментарію (дедуктивних та індуктивних методів; систем аналізу і синтезу, баз знань тощо), розробку методів подання і обробки знань. Біонічний торкається поведінки суб'єктів, вивчення середовища та обстановки.

Вищеперелічені напрямки та методи роботи дозволяють вирішувати завдання множинного вибору, реалізовувати пошукову функцію, переглядати масиви інформації. Перспективи застосування методів та систем штучного інтелекту є одним з основних напрямків сучасної науки, який відображає подальшу траєкторію вдосконалення методології ШІ.

Т.В. Попок вважає, що дослідження штучного інтелекту повинні бути націлені на перетворення програмної інженерії в інтелектуальну інженерію; створення кібернетичних моделей розуму, імітації інтелектуальної діяльності людини [13, с.253].

Безумовно, запропоновані напрямки на сьогодні є перспективними шляхами вдосконалення основ застосування систем штучного інтелекту. При цьому, необхідно ефективно вирішувати задачі та виконувати моделювання, відтворення операцій, які базуються на використанні знань. Також, слід звернути увагу на визначенні нових шляхів вирішення інтелектуальних задач.

Вважаємо, що методи та системи штучного інтелекту повинні спрямовуватися на:

- вирішення задач шляхом розпізнавання образів; логічного мислення; аналізу ситуації; розуміння нової інформації; навчання і самонавчання; планування цілеспрямованих дій [6,с.6]
- ефективну інтеграцію інструментів штучного інтелекту в основні сфери його застосування (маркетинг, освіта, сфера безпеки, сфера фінансів, освіта, управління персоналом тощо);
- обґрунтування основ обробки інформації, технологій, на яких заснований штучний інтелект (нейронна мережа та ін.).
- дієву автоматизацію виробництва і бізнесу з метою економічного зростання та науково-технічного прогресу.

Важливо зрозуміти, що реалізації методів та систем штучного інтелекту, їх цільова спрямованість повинна містити організаційно-правові механізми реалізації і віддзеркалювати сучасний напрямок розвитку технологій штучного інтелекту в Україні.

Позиції, закріплені у Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні, свідчать, що пріоритетність впровадження методів та систем штучного інтелекту, передусім, знаходиться у сферах освіти і професійне навчання, науки, економіки, кібербезпеки, інформаційної безпеки, оборони, публічного управління, правового регулювання та етики, правосуддя [2].

Беручи до уваги те, що існує розмежування щодо пріоритетів застосування штучного інтелекту виникає необхідність розподілу методів штучного інтелекту за сферою застосування, застосовуючи підхід щодо розподілу інструментів ШІ залежно від напрямку використання.

#### **Висновки і перспективи подальших досліджень.**

Проведений огляд основних методів, які застосовуються у системах штучного інтелекту засвідчив, що на сьогодні сформувався значна кількість підходів у розуміння напрямків, засобів та основ застосування інструментів ШІ. Штучний інтелект не обмежується математичними методами та моделями, а містить значну кількість програмних, апаратних засобів та методів, які базуються на законах логіки, а також на неформальних методах. Системи штучного інтелекту складаються за допомогою теорії та практики нейронних мереж, систем нечіткої логіки, експертних систем, систем моделювання мислення. Методи та системи штучного інтелекту знаходять свій прояв у різних сферах життєдіяльності, покращуючи стандарти їх функціонування та якість технологічних процесів.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на з'ясування можливості розподілу методів за напрямками використання та за критерієм ефективності відповідно до пріоритетів, закріплених Концепцією розвитку штучного інтелекту в Україні.

### Література

1. Піжук О.І. Штучний інтелект як один із ключових драйверів цифрової трансформації економіки. URL:<http://ema.ztu.edu.ua/article/view/185177/184810> (дата звернення 20.12.2020).
2. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні: розпорядження КМУ від 2 грудня 2020 р. № 1556-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1556-2020-%D1%80> (дата звернення 20.12.2020).
3. Ямпольський Л. С. Ткач Б. П., Лісовиченко О. І. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні : підруч. для студентів ВНЗ/ Міжрегіон. акад. упр. персоналом (МАУП). - Київ : Персонал, 2011. - 543 с.
4. Нестеренко О.В. Інтелектуальні системи і технології. Ввідний курс: навч. посіб. / Нестеренко О. В., Ковтунець О. В., Фаловський О. О.; Нац. акад. упр. - Київ : Нац. акад. упр., 2017. - 89 с.
5. Баранов О. А. Інтернет речей і штучний інтелект: витоки і проблеми правового регулювання. URL: <http://aphd.ua/publication-376/> (дата звернення 20.12.2020).
6. Коцовський В.М. Методи та системи штучного інтелекту : конспект лекцій .Ужгород. Ужгородський національний університет, 2016. – 76 с.
7. Кравець П.О., Рикало Р.В. Системи прийняття рішень з нечіткою логікою. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2009. № 650 : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 115-123.
8. Спірін О.М. Початки штучного інтелекту. Житомир: Вид-во Житомирського держ. університету, 2004 – 170 с.
9. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття. Навчальний посібник. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. - 341 с.
10. Савченко, А. С. Синельников О.О. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібник– Київ : НАУ, 2017. – 176 с.
11. Лубко Д.В., Шаров С.В. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб, С.В.Шаров. – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. –264с
12. Андрощук Г. О. Тенденції розвитку технологій штучного інтелекту: економіко-правовий аспект .Теорія і практика інтелектуальної власності. 2019. № 3. С.84-101.URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpiv\\_2019\\_3\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpiv_2019_3_11) (дата звернення 20.12.2020).
13. Попок Т. В. Штучний інтелект: перспективи та загрози. Студентський вісник НУВГП. – Рівне : НУВГП, 2015. Вип. 2(4). С. 252-253

### References

1. Pizhuk O.I. Shtuchnyj intelekt yak odyin iz klyuchovykh drajveriv cyfrovoyi transformaciyi ekonomiky. URL:<http://ema.ztu.edu.ua/article/view/185177/184810> (data zvernennya 20.12.2020).
2. Pro sxvalennya Konceptsiyi rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini: rozporjadzhennya KМУ vid 2 hrudnya 2020 r. № 1556-r URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1556-2020-%D1%80> (data zvernennya 20.12.2020).
3. Yampol's'kyj L. S. Tkach B. P., Lisovychenko O. I. Systemy shtuchnoho intelektu v planuvanni, modelyuvanni ta upravlinni : pidruch. dlya studentiv VNZ/ Mizhrehion. akad. upr. personalom (MAUP). - Kyiv : Personal, 2011. - 543 s.
4. Nesterenko O.V. Intelektual'ni systemy i tehnolohiyi. Vvidnyj kurs: navch. posib. / Nesterenko O. V., Kovtunec" O. V., Falovs"kyj O. O.; Nac. akad. upr. - Kyiv : Nac. akad. upr., 2017. - 89 s.
5. Baranov O. A. Internet rechej i shtuchnyj intelekt: vytyky i problemy pravovoho rehulyvannya. URL: <http://aphd.ua/publication-376/> (data zvernennya 20.12.2020).
6. Kocovs"kyj V.M. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu : konspekt lekcij .Uzhhorod. Uzhhorods"kyj nacional"nyj univertsytet, 2016. – 76 s.
7. Kravec" P.O., Rykalo R.V. Systemy pryjnyattya rishen" z nechitkoyu lohikoyu. Visnyk Nacional"noho univertsytetu "L"vivs"ka politexnika". 2009. № 650 : Komp'yuterni nauky ta informacijni tehnolohiyi. – S. 115-123.
8. Spirin O.M. Pochatky shtuchnoho intelektu. Zhytomyr: Vyd-vo Zhytomyrs"koho derzh. univertsytetu, 2004 – 170 s.
9. Subbotin S.O. Podannya j obrobka znan" u systemax shtuchnoho intelektu ta pidtrymky pryjnyattya. Navchal"nyj posibnyk. - Zaporizhzhya: ZNTU, 2008. - 341 s.
10. Savchenko, A. S. Synel"nikov O.O. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu: navch. posibnyk– Kyiv : NAU, 2017. – 176 s.
11. Lubko D.V., Sharov S.V. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu: navch. posib, S.V.Sharov. –Melitopol": FOP Odnoroh T.V., 2019. –264s
12. Androshhuk H. O. Tendenciyi rozvytku tehnolohij shtuchnoho intelektu: ekonomiko-pravovyj aspekt .Teoriya i praktyka intelektual'noyi vlasnosti. 2019. № 3. S.84-101.URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpiv\\_2019\\_3\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpiv_2019_3_11) (data zvernennya 20.12.2020).
13. Popok T. V. Shtuchnyj intelekt: perspektyvy ta zahrozy. Students"kyj visnyk NUVHP. – Rivne : NUVHP, 2015. Vyp. 2(4). S. 252-253

Рецензія/Peer review : 05.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

О. В. ГРИНЧАК

Уманський національний університет садівництва

Р. В. МОЦИК

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

## ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДИЗАЙН

Веб-дизайн - це дизайн веб-сайтів, які відображаються в Інтернеті. Зазвичай це стосується аспектів користувацького досвіду розробки веб-сайтів, а не розробки програмного забезпечення. Раніше веб-дизайн був зосереджений на розробці веб-сайтів для настільних браузерів; однак з середини 2014-х років дизайн для мобільних та планшетних браузерів набуває все більшої важливості.

Веб-дизайнер працює над зовнішнім виглядом, макетом та, в деяких випадках, змістом веб-сайту. Зовнішній вигляд, наприклад, стосується кольорів, шрифту та зображень, що використовуються. Макет стосується того, як інформація структурована та класифікована. Хороший веб-дизайн простий у використанні, естетично приємний і підходить для групи користувачів та бренду веб-сайту. Багато веб-сторінок розроблено з орієнтацією на простоту, так що не з'являється стороння інформація та функціональність, які можуть відволікати або бентежити користувачів. Оскільки ключовим каменем результату роботи веб-дизайнера є сайт, який завойовує та виховує довіру цільової аудиторії, усунення якомога більшої кількості можливих розладів користувачів є критичним фактором.

Ключові слова: інженерна мережа, стратегія IT-інфраструктури, веб-дизайн, інформаційні технології.

MOTSYK ROSTISLAV

Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohienko University

HRYNCHAK OLEKSANDR

Uman National University of Horticulture

## WEB TECHNOLOGIES AND DESIGN

Web design is the design of websites that are displayed on the Internet. This usually concerns aspects of the user experience of website development, not software development. Previously, web design focused on developing websites for desktop browsers; however, since the mid-2014s, design for mobile and tablet browsers has become increasingly important.

The web designer works on the look, layout and, in some cases, the content of the website. Appearance, for example, refers to the colors, font, and images used. Layout refers to how information is structured and classified.

Website design often begins with research, including interviews and observations, in order to gain a better understanding of how a site can solve problems or how it will be used. It is typical for designers to do a user testing cycle for each phase of the design process to ensure the suitability of their designs.

In recent years, the growing development of the Internet is associated with an extremely competitive context. This study focused on the specialized literature and empirical evidence on the main factors influencing the level of success of companies in e-commerce. More specifically, we can emphasize aspects related to website design. Users are more likely to visit and / or buy on well-designed websites but there are various combinations that can lead to optimal design. Investing in design is necessary to establish a perception of trust in the minds of users, so that it generates more intentions for online shopping.

Good web design is easy to use, aesthetically pleasing and suitable for a group of users and a website brand. Many web pages are designed with simplicity in mind, so there is no extraneous information and functionality that can distract or confuse users. Because a key cornerstone of a web designer's work is a site that wins and builds the trust of the target audience, eliminating as many possible user frustrations as possible is critical.

Key words: engineering network, IT infrastructure strategy, web design, information technologies.

**Постановка проблеми.** Два найпоширеніші методи створення веб-сайтів, які добре працюють як на настільних ПК, так і на мобільних пристроях, - це *responsive* та *adaptive* дизайн.

В *responsive* дизайні вміст динамічно рухається залежно від розміру екрана; в адаптивному дизайні вміст веб-сайту фіксується у розмірах макета, які відповідають загальним розміром екрану.

Збереження максимально узгодженого макета між пристроями має вирішальне значення для підтримки довіри та залучення користувачів. Оскільки *responsive* дизайн може спричинити труднощі в цьому плані, дизайнери повинні бути обережними, відмовляючись від контролю над тим, як буде виглядати їх робота.

Якщо вони відповідають також за вміст, хоча їм може знадобитися розширити свій набір навичок, вони насолоджуватимуться перевагою повного контролю над готовим продуктом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Окрім основних елементів веб-дизайну, які роблять сайт красивим та візуально привабливим, веб-сайт також повинен завжди враховувати кінцевого користувача. Зручності для користувача можна досягти, звертаючи увагу на такі фактори.

Архітектура сайту, меню та інші інструменти навігації у веб-дизайні повинні створюватися з урахуванням того, як користувачі переглядають та шукають. Мета полягає в тому, щоб допомогти користувачеві легко пересуватися по сайту, ефективно знаходити потрібну інформацію.

Відповідні відео- та звукові стимули в дизайні можуть допомогти користувачам зрозуміти інформацію, розвиваючи розуміння легко і швидко. Це може спонукати відвідувачів проводити більше часу на веб-сторінці.

Створіть веб-сторінку, щоб вона однаково добре працювала в різних браузерах та операційних системах, щоб збільшити її перегляд. вдосконалення технологій дають дизайнерам свободу додавати руху та інновації, дозволяючи веб-дизайн, який завжди є свіжим, динамічним та професійним.

Збільште активну участь і залучення користувачів, додавши в дизайн поля для коментарів та опитування думок. Перетворюйте користувачів із відвідувачів на клієнтів за допомогою електронних форм та реєстрацій на розсилки.

**Мета роботи.** Дослідити веб-дизайн - це те, що створює загальний вигляд та відчуття при користуванні веб-сайтом.

Це процес планування та побудови елементів веб-сайту, від структури та макета до зображень, кольорів, шрифтів та графіки.

Веб-дизайн відрізняється від веб-розробки власне кодуванням, що змушує веб-сайт працювати. Створюючи веб-сайт, потрібні як веб-дизайн, так і веб-розробка. Хоча ви можете знайти веб-дизайнерів, які також є розробниками Інтернету та *UX*, це різні набори навичок.

**Постановка задачі.** Потенційні клієнти, які шукають в Інтернеті бренд і нічого не знаходять, можуть подумати, що власник втратив свій бізнес. Якщо вони шукатимуть і знайдуть щось неповноцінне, у них складеться враження, що він не дуже дбає про свою компанію чи товар.

Отже зробивши усі стосунки, які починаються на вашому веб-сайті, чудовими, правильно налаштувавши веб-дизайн що гарантує, веб-сайт, який відповідає очікуванням або перевершує їх.

#### Виклад основного матеріалу

Часто, думаючи про дизайн, ми думаємо про те, як щось виглядає. Увімкнено

Інтернет, першою справою бізнесу є розробка принципу роботи сайту. Перед тим як підбирати кольори та шрифти, важливо визначити цілі сайту, як це зробити і як відвідувачі будуть рухатись через нього. Ці завдання підпадають під дизайн взаємодії (*IxD*), дизайн інтерфейсу користувача (*UI*) та користувацький досвід (*UX*). Між цими обов'язками існує багато перекриттів, і нерідкі випадки, коли одна людина чи команда виконує всі три. Метою дизайнера взаємодії є зробити сайт максимально простим, ефективним, і чудовий у використанні по можливості. З дизайном взаємодії тісно пов'язаний користувацький досвід, який, як правило, більш вузько орієнтований на функціонал організації сторінки, а також конкретні інструменти (кнопки, посилання, меню, тощо), що користувачі використовують для навігації вмістом або виконання завдань.

Дизайнер *UX* приймає більш цілісний погляд - забезпечуючи весь досвід роботи з сайтом сприятливим. Дизайн *UX* базується на глибокому розумінні користувачів та їх потреб на основі спостережень та інтерв'ю. За словами Дональда Нормана (який ввів цей термін), дизайн інтерфейсу користувача включає "всі аспекти взаємодії користувача з товаром: як це сприймається, вчиться та використовується».

Що робить веб-дизайнер? візуальний дизайн, користувацький інтерфейс, якість та повідомлення вмісту, і навіть загальна продуктивність сайту. Досвід повинен відповідати бренду організації та бізнес-цілі організації, щоб досягти успіху. Деякі документи, які може надати дизайнер *IxD*, *UI* або *UX*, включають: звіти про дослідження та тестування користувачів; розуміння потреб, бажань та обмежень користувачів є головним фактором успіху дизайну сайту або веб-програми. Цей підхід проєктування з урахуванням потреб користувача називається дизайном, орієнтованим на користувача (*UCD*), і він є головним для сучасного дизайну.

Дизайн сайтів часто починається з дослідженнями, включаючи інтерв'ю та спостереження, з тим щоб отримати краще розуміння того, як сайт може вирішувати проблеми або як він буде використаний. Для дизайнерів типово робити цикл тестування користувачів на кожен етап процесу проєктування, щоб забезпечити придатність їх конструкцій. Якщо користувачам важко зрозуміти, де і як знайти вміст щоб перейти до наступного кроку в процесі, потім поверніться до креслення.

Розкадровка простежує шлях через сайт або додаток від точки зору типового користувача (персона на *UX*-мові). Зазвичай він включає сценарій та "сцени", що складаються з переглядів екрану або взаємодії користувача з екраном. Раскадровка має на меті продемонструвати кроки, які вона робить виконуючи завдання, можливі варіанти, а також вводить деякі стандартні типи сторінок.

Схема користувацьких потоків: інший спосіб показати, як виглядають частини сайту або підключені програми, які, як правило, фокусуються на технічних деталях. Наприклад, коли користувач авторизується, він запускає цю функцію сервера. Дизайнери зазвичай створюють діаграму потоків користувачів для кроків в процесі, такі як реєстрація учасників або онлайн-платежі.

Оскільки Інтернет є візуальним носієм, веб-сторінки вимагають уваги до презентації та дизайну. Графічний дизайнер створює «зовнішній вигляд» веб-сайту - логотипи, графіка, тип, кольори, макет тощо, - щоб гарантувати, що сайт справляє гарне перше враження та відповідає бренду та повідомлення організації, яку вона представляє. Візуальні дизайнери зазвичай генерують ескізи того, як може виглядати сайт. Вони також можуть бути відповідальними за створення графічних файлів оптимізованим способом.

За словами Джеффри Зельдмана, адаптивний дизайн - це техніка, яку дизайнери використовують, щоб забезпечити елегантний візуальний досвід, незалежно від будь-якого розміру використовуваного браузера та будь-яких обмежень, що виникають на пристрої доступу [4]. Дизайн вважається чуйним, якщо він використовує ці три пункти: гнучку сітку, гнучкі зображення та медіа та медіа-запити [1]. Використовуючи медіа-запити, дизайнери веб-сайтів можуть визначити певні діапазони роздільної здатності як умови використання певних визначень *CSS*, які називаються фіксованими точками зупинки [5]. Таким чином, дизайнер може підібрати, яке визначення *CSS* буде застосовано до певної роздільної здатності, що створить кращий візуальний досвід для користувачів веб-сайтів.

У червні 2012 року П'єр Фар від *Google* рекомендував адаптивний веб-дизайн компаніям, які збиралися створити мобільний веб-сайт, один веб-сайт може адаптуватися до роздільної здатності багатьох браузерів [6]. Це може допомогти розробникам веб-сайтів підтримувати лише один веб-сайт, тим самим скорочуючи час та складність ведення кількох веб-сайтів [6].

Незважаючи на те, що визначення та кроки для створення адаптивних веб-сайтів легко знайти в пошукових системах, ще не було досліджень, чи може використання адаптивного веб-дизайну підтримувати

якість веб-сайтів на будь-яких пристроях чи ні. Тому в цьому дослідженні якість адаптивного веб-дизайну була перевірена на основі фактора успіху у досягненні мети адаптивного веб-дизайну та переваг його використання. Відповідно до *Webtise*, адаптивний веб-дизайн використовується з метою / метою забезпечити належну доставку інформації веб-сайту без будь-якої втрати інформації, незалежно від того, на яких мобільних пристроях він відкритий [7].

Згідно з *Cerejo* [8], якість інформації веб-сайту можна спостерігати через 3 з 12 аспектів досвіду користування мобільними пристроями, а саме: функціональність, інформаційна архітектура та вміст. Функціональність веб-сайту слід інформувати з його домашньої сторінки; тому пізніше під час цього дослідження ми спостерігали домашню функціональність щодо аспекту функціональності [9]. За словами Френка Фарріса, адаптивний дизайн на мобільних пристроях створює веб-сайт, який потребує менше взаємодії з користувачем (прокручування та клацання), ніж веб-сайт, що не відповідає, на мобільному пристрої для досягнення тієї ж мети [10]. Перевага адаптивного веб-дизайну сказана так, тому що веб-сайт, який може адаптувати свій макет до розміру браузера, повинен мати можливість адаптувати розмір шрифту, малюнків та інших компонентів, щоб користувач міг читати весь вміст, не роблячи горизонтальної прокрутки, щоб побачити приховані частини веб-сайту. Загальний клік, спричинений помилками, слід зменшити, оскільки адаптивний веб-сайт насправді створений для створення зручного інтерфейсу та обробки обмеженого розміру мобільного браузера.

Якщо ви вже графічний дизайнер, ви зможете адаптувати свої навички, щоб перейти до веб-дизайнингу, хоча це не покриє вас від придбання надійних матеріалів розуміння *HTML*, *CSS* та інших веб-технологій. Тому що більшість сайтів мають принаймні кілька зображень, навіть веб-дизайнерам-любителям потрібно буде знати, як створювати та редагувати зображення. Ще раз хочу зазначити, що всі ці обов'язки можуть потрапити в руки одного дизайнера, який створює як зовнішній вигляд, так і функціональність сайту. Але для великих сайтів із більшим бюджетом є можливість знайти свою власну особливу нішу в процесі проектування.

Значна кількість процесів веб-дизайну включає створення та усунення неполадок у документах, таблицях стилів, сценаріях та зображеннях, які складають сайт. У фірмах веб-дизайну команда, яка займається створенням файлів, які складатимуть веб-сайт (або шаблони для сторінок, які збираються динамічно) зазвичай називається відділом розробки або виробництва.

Веб-розробники не можуть самостійно розробляти зовнішній вигляд або структуру веб-сайту, але їм потрібно добре спілкуватися з дизайнерами та розуміти цілі сайту, щоб вони могли запропонувати рішення, які відповідають цим цілям.

У веб-дизайні зовнішнім виглядом сторінки в браузері керує правила стилю, написані в *CSS* (каскадні таблиці стилів). В сучасному веб-дизайні зовнішній вигляд сторінки обробляється окремо від *HTML*-розмітки.

Знову ж таки, якщо ви зацікавлені у роботі над веб-розробкою, знаючи, як обійти *CSS* і те, як це підтримується (або не підтримується) браузерами, гарантовано частина вашої посадової інструкції.

Оскільки Інтернет перетворився на платформу програм для їх виконання, програмування ніколи не втратить популярність. *JavaScript* - це мова, яка робить елементи на веб-сторінках, опрацьовує події, передає дані на сервер. Це додає поведінку та функціональність до елементів на сторінці і навіть до самого вікна браузера. Існують також інші мови програмування, пов'язані з Інтернетом, включаючи *PHP*, *Ruby*, *Python* та *ASP.NET*, які працюють на сервері та обробляють дані та інформацію перед її надсиланням у браузер користувача.[4]

Веб-сценарії та програмування, безумовно, вимагають деяких традиційних навичок комп'ютерного програмування. Хоча багато веб-програмістів мають наукові ступені в інформатиці, часто зустрічаються розробники самоучки. Що можуть починати з копіювання та адаптації існуючих сценаріїв та поступово додавали свої навички програмування з кожним новим проектом. Все-таки, якщо у вас немає досвіду роботи з мовами програмування, початкова крива навчання може бути трохи крутою.

Можна створити багаті на вміст, добре розроблені сайти без необхідності програмування, тому любителі веб-дизайнерів не слід перешкоджати. Однак, коли ви починаєте збирати інформацію за допомогою форм або подавати інформацію на перевірку, зазвичай потрібно мати програміста в команді. Ви також можете запитати у вашої хостинг-компанії якщо вони пропонують функціональність, яку ви шукаєте, у простоті використання, консервованій обслуговуванням.

Веб-браузери можуть працювати в більшості операційних систем з обмеженим обладнанням або програмним забезпеченням. Вони є графічним інтерфейсом для взаємодії клієнтів з веб-додатками.

Основні функції веб-браузера включають:

- Інтерпретувати розмітку *HTML* та представляти документи візуально;
- Підтримувати гіперпосилання в документах *HTML*, так що натискання на таке гіперпосилання може призвести відповідний файл *HTML*, який завантажується з того самого або іншого веб-сервера;
- Використовувати форму *HTML* та протокол *HTTP* для надсилання запитів та даних до веб-додатків та завантажувати документи *HTML*;
- Зберігати файли *cookie* (пари значень імен, пояснені далі), депоновані на клієнтських комп'ютерах, а веб-додаток надсилає усі файли *cookie* назад на веб-сайт;
- Використовувати додаткові програми для підтримки додаткових функцій, таких як відтворення аудіо-відео файлів та запуск аплетів *Java*;
- Впровадити політику безпеки пісочниці веб-браузера: будь-який програмний компонент (аплет, *JavaScript*, *ActiveX*...), що працює у веб-браузері, як правило, не можуть отримати доступ до локального ресурсу клієнтів, такі як файли або клавіатури, і можуть спілкуватися лише безпосередньо на веб-сервері, звідки він завантажується.



Веб-сервер в основному призначений для отримання запитів на документи та подання даних з інтернет-браузера через протокол *HTTP* поверх рівня *TCP / IP*. Основна функція веб-серверу подавати HTML-файли до веб-браузерів. Якщо клієнт запитує існуючий файл, він буде отриманий на жорсткому диску сервера і відправлений назад у веб-браузер. Якщо клієнту потрібні персоналізовані HTML-сторінки, такі як банківська виписка клієнта, програмне забезпечення компонента, як сторінка JSP або клас сервлету сервер скористається окремим апаратним серверним комп'ютером, щоб запускати бізнес-логіку більш ефективно. Це хороше застосування методології вирішення проблем "поділи і владай". Поточні енергетичні моделі будівель (BEM), що використовують EnergyPlus або інше моделювання, ненадійні, оскільки їх потрібно постійно калібрувати, щоб відповідати фактичним даним про споживання енергії.

В даний час це дуже дорогий метод, оскільки він вимагає значних ручних зусиль досвідчених кваліфікованих фахівців, які також можуть бути недосконалими, неповторюваними та непереказними. Проект Autotune розробляє методологію автоматизованого налаштування BEM методології, що створює відтворювані вимірювані дані, вибираючи вхідні параметри, що найкраще відповідають.

Методологія автоналаштування значно зменшить витрати на модернізацію енергії побудови проєктів, розширити їх охоплення на менші проєкти та покращити економію енергії вимірювання та перевірити для підрядної роботи та інших цілей.

Важливим аспектом проєкту Autotune є надання загальнодоступного інтерфейсу для спільного використання даних моделювання. Веб-портал результатів проєкту повинен містити безпеку та обмеження доступу, а також сумісність з найновішими веб-технологіями, щоб забезпечити інтерактивний та динамічний веб-сайт.

Багато людей використовують терміни Інтернет і Всесвітня павутина, або просто Інтернет, взаємозамінні, але ці два терміни не є синонімами. Всесвітня павутина - лише одна з них, сотні послуг, що використовуються в Інтернеті.

Інтернет - це глобальний набір документів, зображень та інші ресурси, логічно взаємопов'язані гіперпосиланнями та посилаються на *Uniform Resource(URI)*[3]. *URI* символічно ідентифікує послуги, сервери та інші бази даних, а також документи та ресурси, які вони можуть надати.

Протокол передачі гіпертексту (*HTTP*) є основним протокол доступу до Інтернету, служби також використовують *HTTP*, щоб дозволити програмним системам спілкуватися з метою обміну діловою логікою та даними.

Програмне забезпечення веб-браузера, таке як *Microsoft Internet Explorer*, *Mozilla Firefox*, *Opera*, *Safari* від *Apple* та *Google Chrome* дозволяють користувачам переходити з однієї веб-сторінки на інший за допомогою гіперпосилань, вбудованих у документи. Ці документи також можуть містити будь-які поєднання комп'ютерних даних, включаючи графіку, звуки, текст, відео, мультимедіа та інтерактивний вміст, який працює під час взаємодії користувача зі сторінкою. Клієнтське програмне забезпечення може включати анімацію, ігри, офісні програми та наукові демонстрації. Завдяки дослідженню ключових слів в Інтернеті за допомогою пошукових систем, таких як *Yahoo!* і *Google*, користувачі у всьому світі мають легкий, миттєвий доступ до величезної та різноманітної інформації в Інтернеті.

Порівняно з друкованим ЗМІ, книги, енциклопедії та традиційні бібліотеки, Всесвітня павутина дозволила децентралізацію інформації у великих масштабах. Інтернет також дозволив приватним особам та організаціям публікувати ідеї та інформацію потенційно великій аудиторії в Інтернеті за значно зменшених витрат та затримки часу. Веб-сторінка, щоденник або створення веб-сайту вимагає невеликих початкових витрат, а також багато безкоштовних послуг доступні

Видання та ведення великих професійних веб-сайтів є привабливими, різноманітними та актуальна інформація все ще є складною і дорогою пропозицією. Багато людей та деякі компанії та групи використовують веб-журнали або блоги, які в основному використовуються так само як просто оновлені щоденники в Інтернеті.

Деякі комерційні організації заохочують персонал передавати поради у своїх галузях спеціалізації в надії, що відвідувачі будуть вражені експертом знань та безкоштовною інформацією, і в результаті залучатися до корпорації. Одним із прикладів такої практики є *Microsoft*, розробники продуктів якої публікують свої особисті блоги, щоб викликати інтерес громадськості до їх роботи. Колекції особистого Інтернет Сторінки, опубліковані великими постачальниками послуг, залишаються популярними та стають дедалі популярнішими та вишуканими. Тоді як такі операції, як *Angelfire* та *GeoCities*, існують з самого початку днів Інтернету, нові пропозиції, наприклад, *Tic-Toc* та *Twitter* в даний час мають великі показники підписки. Ці операції часто називають себе послугами соціальних мереж, а не просто як хости веб-сторінок. Реклама на популярних веб-сторінках може бути прибутковою, а електронна комерція або продаж продуктів та послуг безпосередньо через Інтернет продовжують зростати.

Мова розмітки *HyperText* - це мова розмітки, яку веб-браузери використовують для інтерпретації складати текст, зображення та інші матеріали на візуальні чи звукові веб-сторінки. За замовчуванням характеристики кожного елемента розмітки HTML визначаються у браузері, і характеристики можуть бути змінені або покращені додатковим використанням *CSS* дизайнера веб-сторінок.

У цій статті ми дізналися про основи роботи в Інтернеті та його значення. Також теми такі як Всесвітня павутина (*WWW*), веб-браузери, веб-сервери та уніфіковані локатори ресурсів (*URL*-адреси) обговорюються. Доступні різні типи веб-браузерів та серверів, залежно від потреби вони класифікуються на декілька типів. Відокремлюючи обговорення веб-технологій, з останніх додатків та послуг (соціальне програмне забезпечення) та спроби зрозуміти прояви та прийняття цих послуг, тим, хто приймає рішення, буде легше зрозуміти і діяти відповідно до стратегічних наслідків.

В останні роки зростаючий розвиток Інтернету пов'язаний з надзвичайно конкурентним контекстом. Це дослідження було зосереджено на спеціалізованій літературі та емпіричних свідченнях про основні фактори, що впливають на рівень успіху компаній в електронній комерції. Більш конкретно, можна підкреслити аспекти, пов'язані з дизайном веб-сайтів. Перше дослідницьке запитання, представлене в цьому дослідженні, стосувалось визначення основних факторів, що впливають на успіх веб-сайтів електронної комерції з точки зору споживача. Огляд літератури дозволяє нам стверджувати, що веб-дизайн є ключовим фактором для отримання позитивних результатів, оскільки він впливає на сприйняття та поведінку споживачів та користувачів Інтернету. Таким чином, дизайн веб-сайтів представляє чудові рамки для інтернет-фірм для створення задоволення, довіри та позитивних намірів користувачів щодо веб-сайту. Зокрема, ми вказали на зв'язок між веб-дизайном та зручністю користування, щоб полегшити користувачам навігацію по веб-сайту, дозволяючи їм контролювати власні завдання та надаючи їм відчуття свободи під час навігації. Крім того, було виявлено важливість веб-атмосфери для залучення уваги користувачів до веб-сайту, покращення знань користувачів про пропозиції компанії та заохочення намірів покупців. Тому роль веб-дизайну є вирішальною для досягнення успіху веб-сайту. Крім того, ми наголосили на кількох прикладах належних практик дизайну, щоб з'ясувати, які основні характеристики веб-дизайну виконують успішні віртуальні магазини.

Тим не менше, виглядає розумним припустити, що не існує унікального оптимального дизайну, оскільки це залежить від типу комерціалізованого продукту, типу користувача, який знаходиться перед екраном, або навіть від географічного розташування веб-сайту, який відвідується. Усі ці фактори можуть визначати успіх даного веб-сайту. Загалом, користувачі більше схильні відвідувати та / або купувати на добре розроблених веб-сайтах [10] але існують різні комбінації, які можуть призвести до створення оптимального дизайну [13]. Інвестиції у проектування необхідні для встановлення сприйняття довіри у свідомості користувачів, щоб це породило більше намірів щодо онлайн-покупок [14]. Незважаючи на цей факт, ми могли б стверджувати, що дизайн веб-сайту, адресований простоті та свободі навігації, забезпечує чітку, своєчасну та точну інформацію у всьому її змісті та зовнішній вигляд, який залучає увагу користувачів. Це може призвести до віртуального магазину з високою ймовірністю успіху. Крім того, аспекти, що стосуються конфіденційності та безпеки, повинні враховуватися кожного разу та місця веб-сайту. У цьому контексті ця стаття пропонує ряд настанов для встановлення ключових аспектів досягнення високого рівня успіху в Інтернеті.

## References

1. Robert W. Sebesta: Programming the World Wide Web, 4th Edition, Pearson Education, 2018.
2. M. Deitel, P.J. Deitel, A. B. Goldberg: Internet & World Wide Web How to H program, 3rd Edition, Pearson Education / PHI, 2014.
3. Chris Bates: WebProgrammingBuilding Internet Applications, 3rd Edition, Wiley India, 2016.
4. XueBai et al: The Web Warrior Guide to Web Programming, Thomson, 2017.
5. HTML5 Black Book: Covers CSS3, Javascript, XML, XHTML, Ajax, PHP and JQuery.
6. Spies, K., Hesse, F. and Loesch, K. (1997) "Store atmosphere, mood and purchase behaviour", Journal of Research in Marketing, Vol. 14, pp. 1-17.
7. Swaminathan, V., Lepkowska-White, E. and Rao, B.P. (1999), "Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of factors influencing electronic exchange", Journal of Computer-Mediated Communication, Vol. 5 (December), available at: <http://jcmc.indiana.edu/vol5/issue2/swaminathan.htm> (accessed 13 January 2018)
8. Tan, G.W. and Wei K.K. (2006), "An empirical study of Web browsing behaviour: Towards an effective website design", Electronic Commerce Research and Applications, Vol. 5, pp. 261-271.
9. Torkzadeh, D. and Dhillon, G. (2002), "Measuring factors that influence the success of internet commerce", Information Systems Research, Vol. 13 No. 2, pp. 187-204.
10. Tractinsky, N. and Lowengart, O. (2007), "Web-store aesthetics in e-retailing: A conceptual framework and some theoretical implications", Academy of Marketing Science Review, Vol. 11 No. 1, pp. 1-18.
11. Turley, L.W. and Milliman, R.E. (2000), "Atmospheric effects on shopping behavior: A review of the experimental evidence", Journal of Business Research, Vol. 49, pp. 193-211.
12. Van der Heijden, H. and Verhagen, T. (2003), "Online store image: conceptual foundations and empirical measurement", Information and Management, Vol. 41, pp. 609-617.
13. Wilde, S.J., Kelly, S.J. and Scott, D. (2004), "An exploratory investigation into e-tail image attributes important to repeat, internet savvy customers", Journal of Retailing and Consumer Services, Vol. 11, pp. 131-139.
14. Zhang, X. and Myers, M. (2005), "Web design and e-commerce", in Gao Y. (Ed) (2005): Web System Design and Online Consumer Behavior, Idea Group Publishing, Hershey, pp. 205-221.
15. Zhang, P. and Von Dran, G.M. (2000), "Satisfiers and dissatisfiers: A two-factor model for website design", Journal of the American Society for Information Science, Vol. 51 No. 14, pp. 1253-1268.
16. Zhang, P., Von Dran, G.M., Small, R.V. and Barcellos, S. (2000), "A two factor theory for website design", In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, United States.
17. Zviran, M., Glezer, C. and Avni, I. (2006), "User satisfaction from commercial Web sites: The effect of design and use", Information and Management, Vol. 43, pp. 157-178.

Рецензія/Peer review : 23.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

Т.М. ЗАКУСИЛО, В. І. МЕСЮРА  
Вінницький національний технічний університет

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОРІВНЯННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПОДІЙ

У цій роботі детально описано застосування теорії прийняття рішень для задач порівняння подій, що буде компонентом програмного комплексу управління часом. У роботі представлено визначення основних понять прийняття рішень. Досліджено основні аспекти, що впливають на прийняття рішень: ступінь ризику, час на процес прийняття рішення, особисті якості, підтримка колективом, політика організації / компанії. Представлено етапи прийняття динамічних рішень. Виконано аналіз моделей прийняття рішень, під час якого розглядалось три моделі: поведінкова; класична; ірраціональна. Коротко було представлено їхні характеристики та оптимальною для задач порівнянь було обрано класичну модель. Продемонстровано етапи прийняття управлінських рішень: формулювання завдання, побудова "дерева рішень", оцінка імовірності виникнення можливих станів, визначення ідеальних результатів для кожної альтернативи, вирішення задач. Представлено узагальнений підхід, який надає змогу зменшити кількість розрахунків в алгоритмах дерев рішень, що відносяться до типу повного перебору варіантів / альтернатив. Детально аналізовано порівняння двох формулювань, бо до них можна звести будь-яку кількість альтернатив послідовним перебором чи порівняннями. Математичною моделлю задачі прийняття рішення в умовах визначеності при числовій оцінці наслідків є задача оптимізації функції, що задана на множині альтернатив. Також у роботі описано підхід на якому базується метод "вартість – ефективність" та продемонстровано варіанти цього підходу. Продемонстровано таблицю прийняття рішень в умовах ризику із представленням математичного сподівання корисності альтернатив. Виконано розробку модуля сервісу прийняття рішень для задач порівняння подій із наведеним приклад програмної реалізації процесу прийняття рішень. Приклад демонструє зображення двох екранів: на першому частина введення вхідної інформації про альтернативи, а на іншому один із варіантів представлення результатів.

Ключові слова: теорія прийняття рішень, дерево рішень, альтернатива, ризик, наслідок.

T.M. ZAKUSYLO, V.I. MESYURA  
Vinnytsia National Technical University

### APPLICATION OF DECISION-MAKING THEORY FOR COMPARISONS OF LOCAL EVENTS

This paper describes in detail the application of decision theory for event comparison problems, which will be a component of the time management software package. The paper presents the definition of basic concepts of decision making. The main aspects influencing decision-making are studied: the degree of risk, time for the decision-making process, personal qualities, team support, organization / company policy. The stages of making dynamic decisions are presented. An analysis of decision-making models was performed, during which three models were considered: behavioral; classical; irrational. Their characteristics were briefly presented and the classical model was chosen as optimal for comparison problems. The stages of making managerial decisions are demonstrated: problem formulation, construction of a "decision tree", assessment of the probability of possible states, determination of ideal results for each alternative, problem solving. A generalized approach is presented, which allows to reduce the number of calculations in the algorithms of decision trees related to the type of complete search of options / alternatives. The comparison of the two formulations is analyzed in detail, because any number of alternatives can be reduced to them by sequential searches or comparisons. The mathematical model of the problem of the decisions made in the conditions of certainty at a numerical estimation of consequences is a problem of optimization of function which is set on set of alternatives. The paper also describes the approach on which the "cost - efficiency" method is based and demonstrates variants of this approach. The table of decision-making in the conditions of risk with representation of mathematical expectation of usefulness of alternatives is shown. The development of the decision-making service module for the tasks of comparing events with the given example of software implementation of the decision-making process is performed. The example shows an image of two screens: on the first part of the input of information about alternatives, and on the other one of the options for presenting the results.

Keywords: decision theory, decision tree, algorithm, alternative, risk, consequence.

#### Вступ. Визначення основних понять

Однією із найважливіших частин управління, менеджменту є управлінські рішення. У науковій літературі існують різноманітні визначення поняття "прийняття рішення". Класичне його розуміння: у процесі діяльності виникають такі ситуації, коли зіштовхуєшся із необхідністю вибору одного із декількох варіантів дій (процес вибору моделей поведінки). Тобто, рішення – це вибір альтернатив чи варіантів. Цей процес це не одномоментна процедура. Зазвичай це довгий, складний та болісний процес, спрямований на пошук інформації, альтернатив та вибір кращого варіанту.

Дерево рішень (також можуть називатися деревами класифікації або регресійними деревами) – використовується в галузі статистики та аналізу даних для прогнозних моделей. Структура дерева містить такі елементи: "листя" і "гілки". На ребрах ("гілках") дерева прийняття рішення записані атрибути, від яких залежить цільова функція, у "листі" записані значення цільової функції, а в інших вузлах – атрибути, за якими розрізняються випадки. Щоб класифікувати новий випадок, треба спуститися по дереву до листа і видати відповідне значення. Мета полягає в тому, щоб створити модель, яка прогнозує значення цільової змінної на основі декількох змінних на вході [1].

Найкращим варіантом у теорії прийняття рішень (ТПР) розуміється той, що приводить до отримання найкращого результату. Зазвичай для переважної більшості рішень, що приймаються людиною,

неможливо врахувати всі наслідки. Можна лише припустити, що вибір певної альтернативи приведе до бажаного результату, тобто наслідку.

Вирішення неструктурованих, або погано структурованих проблем виконується з використанням методів і моделей штучного інтелекту, таких як евристичні методи, що ґрунтуються на логіці, досвіді, інтуїції, теоретичних міркуваннях, професіоналізмі чи колегіальних структур; експертних підходах; діалогових процедурах; системному аналізі і т.д.

**Дослідження аспектів, що впливають на прийняття рішення**

У залежності від стандартності проблем чи ситуацій, які з'являються у процесі управлінської діяльності, рішення поділяються на програмовані та непрограмовані (Г. Симон). Якщо ситуація виникає систематично (тобто вона є програмованою), то можна розробити стандартизовану процедуру для її вирішення чи передбачення. Звідси випливає, що рішення можна запрограмувати настільки, наскільки стандартними є проблеми і процедури рішень. Неможливо запрограмувати рішення, якщо воно взагалі нове та його неможливо структурувати. Немає ніякої універсальної процедури рішення, тому для вирішення проблеми в першу чергу її необхідно ідентифікувати [2].

Польський психолог, науковець та письменник Ю.Козелецький запропонував подібну класифікацію, розділивши задачі за якими приймаються рішення на закриті та відкриті. Закриті завдання чітко поставлені; передбачається, що у процесі рішення наявна вся інформація про безліч альтернатив та наслідків. При розгляді відкритих завдань дані про будь-які альтернативи відсутні, звідси випливає, що приймати рішення необхідно самостійно, визначивши безліч можливих варіантів і передбачивши можливі наслідки.

Аналіз класичних математичних методів та інструментарію дослідження операцій для прийняття рішень, які знайшли досить широке застосування у багатьох прикладних проблемах і предметних областях, дозволяє дійти висновку, що традиційного інструментарію середини ХХ століття недостатньо для прийняття рішень за умов слабо структурованих та неструктурованих задач (проблем). Тобто, існує потреба в розробці та застосуванні методів і моделей штучного інтелекту з урахуванням ступеня ризику [1].

Конкретне рішення з точки зору тайм-менеджменту необхідно розглядати як засіб, як ресурс, а не кінцеву ціль. Рішення є результатами динамічного процесу, на них впливають різноманітні фактори які можна визначити як послідовність стадії або етапи.

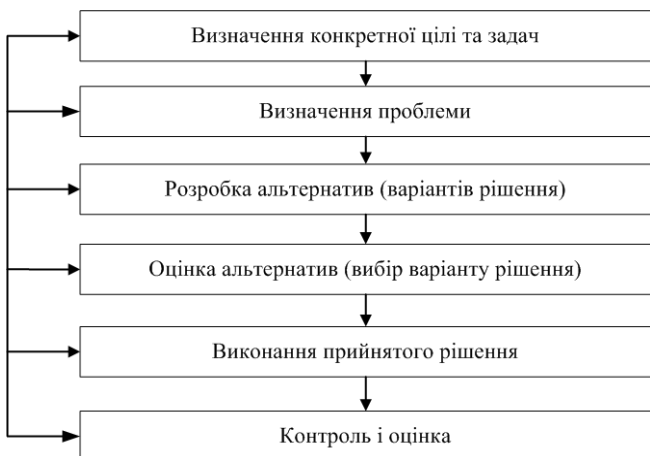


Рис. 1. Етапи динамічного прийняття рішень

Велика кількість аспектів впливає на прийняття управлінських рішень. Найважливішими із них є:

1. Ступінь ризику – необхідно враховувати імовірність прийняття хибних рішень. Ризик необхідно враховують при кожному прийнятті рішення, бо із його збільшенням зростає і відповідальність;
2. Час на процес прийняття рішення. У реаліях сучасного світу більшість людей не мають можливості проаналізувати всі варіанти можливих альтернативи, оскільки відбувається велика завантаженість;
3. Особисті якості – незалежно від того наскільки ти відповідальні, у тебе повинні бути

здібності до прийняття вірних рішень;

4. Підтримка колективом – варто враховувати, що нових працівників сприймають не відразу, відбувається тривалий процес налагодження комунікації;

5. Політика організації / компанії – необхідно також враховувати суб'єктивні фактори під час прийняття рішення. Бюрократія, влада, статус, навмисне затягування часу, імідж – фактори, що можуть впливати на процеси прийняття рішення.

**Аналіз моделей прийняття рішень. Вибір оптимальної моделі для задач порівнянь**

Експерти менеджменту та управління виділяють три моделі прийняття рішень: поведінкову; класичну; ірраціональну. Коротко розглянемо кожен із них.

Класичну модель часто називають раціональною моделлю. Її характеризують тим, що особа, яка приймає рішення (ОПР) має: чіткі цілі; всю інформацію про події; повну інформацію про всі варіанти альтернатив, можливі наслідки того, що результати цих альтернатив будуть досягнути; раціональну систему розставлення пріоритетів; мету отримати максимальний результату діяльності.

Поведінкова модель характеризується як модель у якій особа, яка приймає рішення (ОПР): не має всіх даних про події чи ситуації; не має всіх даних про повний перелік можливих альтернатив; не може передбачити можливі наслідки реалізації кожної із можливих альтернатив.

Ірраціональна модель будується на передбаченнях, тобто рішення приймаються ще до дослідження альтернатив. Ця модель найчастіше використовується:

- 1) для ноу-хау (принципово нових незвичайних ідей);

- 2) у кризових ситуаціях, коли спостерігається великий дефіцит часу;
- 3) коли керівництво чи менеджери мають владу, щоб нав'язувати свої ідеї.

Отже, найкращим методом прийняття рішень в задачах порівняння подій є класичний метод із можливістю використання підходу дерев рішень. Він є добре дослідженим та забезпечує точність, що дозволяє в повній мірі ознайомитись з особливостями проблеми.

#### Етапи прийняття управлінського рішення

Критерії оцінювання альтернатив – це показники їх привабливості чи непривабливості для процесу вибору. Критеріями також називають: ознаки, фактори, атрибути, аспекти та ін. Критерії мають характеризувати цілі. У професійній діяльності вибір критерію базується на досвіді та багаторічній практиці, можуть надаватись, оцінюватись спеціалістом-експертом.

Основним аспектом прийняття рішень є реалізація технологічного процесу розроблення раціональних управлінських рішень за допомогою дерева рішень. На рисунку 2 представлено шість етапів цього процесу [3].

Етап 1. Формулювання завдання.

- У першу чергу відкидаємо всі фактори, що не стосуються проблематики, а серед тих що залишилися, виділяємо найсуттєвіші. У результаті отримаємо опис завдання у формі, що підходить для аналізу. Необхідно щоб виконувались наступні умови: з'являлась можливість збору даних для проведення експериментів і поле для реальних дій;

- Складаємо перелік подій, що імовірно можуть відбутися;
- Встановлюємо часові межі розміщення подій, що призведуть у наслідку до корисна і доступних результатів.

Етап 2. Процес побудови "дерева рішень".

Етап 3. Процес оцінки імовірності виникнення можливих станів. Порівняння імовірності виникнення кожної гілки дерева. Імовірність обчислюється на підставі статистики, або за допомогою експертного шляху.

Етап 4. Визначення ідеальних результатів для кожної альтернативи із врахуванням факторів середовища.

Етап 5. Процес вирішення задач.

#### Розробка сервісу прийняття рішень для задач порівняння подій

Алгоритми вибору чергового атрибуту: алгоритм ID3; алгоритм C4.5 (модифікована версія алгоритму ID3); алгоритм CART (можливі його модифікації – DB-CART, IndCART); детектор взаємодії  $X_i$ -квадрат (CHAID); MARS.

Для задач порівняння локальних подій використовуватимемо алгоритм C4.5, що має високу точність та розгляд достатньо деталізованих дерев. Для скорочення дерев, їх розмірів необхідно використовувати відповідні методи відсікання гілок.

Варто розраховувати, що комп'ютера не можуть розв'язувати будь-які задачі. Дослідження різноманітних проблем та задач привело експертів-математиків до висновків, у яких доведено існування задач до яких неможливо підібрати єдиний ефективний алгоритм дій. Це надає розуміння, що машини не весільні. Альтернативним шляхом є умови універсальності задачі, а саме, коли задача розв'язується, лише для певної підмножини факторів. Іншим альтернативним шляхом є метод випадкового "наукового тицяння", що розширює множину доступних елементарних операцій (наприклад, створення нових матеріалів, створення нових технологій тощо).

Доцільно враховувати неточність та неповноту інформації про чинники ситуації на момент прийняття рішень, високу швидкість зміни динаміки соціально-економічних процесів, а також роль особистості.

Прийняття рішень являє собою процес переходу від намірів до дій та характеризується такими компонентами:

1) наявністю невизначеності, оскільки часто ОПР не володіє вичерпною інформацією, що необхідна для прийняття найкращих рішень, а дефіцит часу не дозволяє проводити подальший пошук інформації; іноді попри ризик доводиться зупинити аналіз ситуації і зупинитися на певній із існуючих альтернатив, щоб своєчасно не втратити сенс прийняття рішення.



Рис. 2. Процес розробки раціональних управлінських рішень

2) необхідність навмисно приймати рішення в умовах ризику, тобто брати відповідальність на себе.

Математичні моделі не структурованих процесів, які функціонують при умовах певної невизначеності, вміщують поведінкові характеристики, що неповністю є визначеними, тому до них не застосовуються суворі вимоги. Використання обчислювального моделювального експерименту та аналітичного математичного моделювання, що ґрунтуються на використанні класичних імітаційних та аналітичних моделей, нелінійної динаміки, штучного інтелекту, є ключовим та перспективним напрямком у теорії прийняття рішень.

Представимо узагальнений підхід, який надає змогу зменшити кількість розрахунків в алгоритмах дерев рішень, що відносяться до типу повного перебору варіантів / альтернатив. Для застосування цього методу, розв'язок задачі повинен бути у вигляді скінченної послідовності  $(x_1, \dots, x_n)$ . Головна ідея заключається у побудові розв'язку крок за кроком, починаючи із порожньої множини  $\phi$ , що має довжину 0.

Нехай є частковий розв'язок  $(x_1, \dots, x_i)$  у якому  $i < n$ , то намагаємося знайти  $x_{i+1}$ , що можна продовжувати у послідовності  $(x_1, \dots, x_i, x_{i+1})$  до отримання повного розв'язку, тобто конкретного результату. Якщо існує допустиме умовою значення  $x_{i+1}$ , що ще не використане, то додаємо новий об'єкт до часткового розв'язку та продовжуємо процес для оновленої послідовності  $(x_1, \dots, x_i, x_{i+1})$ . Якщо значення  $x_{i+1}$  не існує, то повертаємося до попереднього кроку  $(x_1, \dots, x_{i-1})$  та продовжуємо процес пошуку нових ще не використаних значень  $x'_i$ . Цей процес називається пошук із поверненням.

Описаний вище алгоритм інтерпретується як процес обходу певної перешкоди. Кожна вершина відповідає послідовності  $(x_1, \dots, x_i)$ , а вершини, що відповідають послідовностям  $(x_1, \dots, x_i, y)$  є синами цих вершин. Як уже зазначалось вище початок руху є порожньою послідовністю. Запускається процес обходу перешкоди пошуком углиб. Також, доцільно звернути увагу на предикат  $P$ , що є означеним на всіх вершинах перешкоди. Якщо ж  $P(v) = \text{False}$ , то вершини підперешкод з коренем у вершині  $v$  не розглядаються і зменшується кількість перебору. Предикат  $P(v)$  отримує значення False, коли стає зрозуміло, що послідовність  $(x_1, \dots, x_i)$ , яка відповідає  $v$ , жодним способом не можна добудувати до остаточного розв'язку.

У реальності на множині альтернатив  $\Omega$  особа, що приймає рішення, обирає деяку альтернативу, керуючись особистим досвідом про кращі альтернативи. У різних осіб уявлення про одну й ту саму проблему можуть сильно відрізнятися, але логічно припустити, що у подібних умовах одна й та сама особа буде діяти однаково, і тому можливо сформулювати правило, за яким виконуватиметься вибір. Математично це виглядає так: якщо  $X' \subset X$  і  $x \in C(X) \cap X'$ , то  $x \in C(X')$ . Вважатимемо, що  $C(X)$  – найкраща група з множини груп  $X$ .

Детальніше проаналізуємо порівняння двох формулювань, бо до них можна звести будь-яку кількість послідовним перебором, порівняннями. Також доведемо, що описані формулювання (визначення корисностей) є ізоморфними при узгодженому способі розгляду невизначеностей.

Припустимо, що міри  $P$  і  $P^*$  погоджені одна з одною незалежно від того, чи виглядають множини  $S$  і  $S'$  зовнішньо різними, Розуміється, що для будь-яких  $A \subseteq Y, x \in X$ .

$$P(\{s' : s' \in S', s'(x) \in A\}) = P^*(\{s : s \in S, x(s) \in A\}) \quad (1)$$

Це означає, що ймовірність, із якою особа, що приймає рішення очікує одержати наслідок  $y \in A$ , коли використовується дія  $x$ , не залежить від конкретного методу, що використовувався для опису невизначеності.

Припустимо, що  $u$  – функція корисності наслідку, яка визначена на  $X$  таким чином, що для будь-яких двох факторів  $P$  і  $Q$  на  $X$  виконується умова (також врахуємо, що функція  $u$  обмежена на  $X$ ):

$$P < Q \Leftrightarrow E(u, P) < E(u, Q). \quad (2)$$

Нехай  $u_1, u_2, \dots$  послідовність простих функцій для  $X$ , що рівномірно знизу збігається до  $u$ . Розглянемо детальніше одну з цих функцій. Нехай  $u_n$  набуває  $m$  значень, а саме,  $u_n(A_i) = c_i, i = 1, 2, \dots, m$ , де  $\{A_1, \dots, A_m\}$  – деяке розбиття множини  $X$ . Також візьмемо до уваги наступний вираз:

$$C'_i = \{s' : s' \in S', s'(x) \in A_i\}, C_i = \{s : s \in S, x(s) \in A_i\}. \quad (3)$$

З вищеописаного випливає, що  $\{C'_1, \dots, C'_m\}$  та  $\{C_1, \dots, C_m\}$  є розбиттям множин  $S'$  та  $S$  відповідно. Наведемо умову та рівність математичних сподівань, що з неї випливає у формулі (5) та (6). А перетворивши умову (4) отримаємо формулу (6).

$$P'(\{s' : s' \in S', s'(x) \in A\}) = P^*(\{s : s \in S, x(s) \in A\}), \quad (4)$$

$$\sum_i c_i P'(C'_i) = \sum_i c_i P^*(C_i). \quad (5)$$

$$P_x(A) = P' \{s : s \in S', s(x) \in A\}, \text{ де } \forall A \subseteq X. \quad (6)$$

Відповідно до формули (5) ліву частину можна прийняти за  $E(u, P_x)$ . Аналогічно, за формулою (6), праву частину також можна прийняти за  $E(u, P_x)$ . Таким чином, за наявності погодженості, що виражається формулою (4), обидва з формулювань дають для очікуваної корисності альтернатив  $x$  одне і теж значення.

Результуюча оцінка найкращої альтернативи знаходиться за допомогою статистичного методу.

$\Omega = E^1, L$  – експерти ізольовані,  $Q$  – обернений зв'язок відсутній,

$$a = (a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n \alpha_i a_i. \quad (7)$$

Результуюча числова оцінка  $a$  знаходиться за формулою математичного сподівання випадкової величини (середньозваженого значення). Степеню узгодженості думок експертів є дисперсія:

$$Q^2 = \sum_{i=1}^n \alpha_i (a - a_i)^2 . \quad (8)$$

Оскільки кожній альтернативі відповідає всього один наслідок та "корисність" наслідку оцінюється єдиною числовою оцінкою, а нас цікавить найкраща оцінка та відповідна їй альтернатива, то встановлюється прямий зв'язок "альтернатива – числова оцінка наслідку". Як наслідок такого підходу отримуємо функцію  $f$ , що визначена на множині альтернатив – цільова функція. Оскільки ціль у задачі прийняті рішення при числовій оцінці результатів полягає у знаходженні такого результату, що максимізує чи мінімізує числову оцінку, то під оптимальним розв'язком в умовах визначеності розуміють ту альтернативу, що забезпечує цільовій функції значення мінімуму чи максимуму. Отже, математичною моделлю задачі прийняті рішення в умовах визначеності при числовій оцінці наслідків є задача оптимізації функції, що задана на множині альтернатив.

Якщо функція  $f$  є скалярною, то переходимо до "звичайної" задачі оптимізації, для якої існує єдина концепція оптимальності – такою буде та альтернатива, яка забезпечує цільовій функції мінімальний чи максимальний показник. Припустимо, що маємо таку задачу, наслідки якої оцінюються за двома показниками  $f_1, f_2$ , а ціль полягає у максимізації цієї пари критеріїв одночасно, тобто за наступним вектором  $f = (f_1, f_2)$ .

Оскільки у разі наявності лише двох чи трьох параметрів множини ефективних оцінок можна зобразити графічно, то при аналізі дво- чи трикритерійних задач нерідко найзручніше обирати оптимальний розв'язок на основі розгляду графіка ефективних оцінок.

На такому підході базується метод "вартість – ефективність". Варіанти підходу полягають у наступному:

- Кожен об'єкт оцінюється за двома характеристиками: вартість виробництва  $B$  і ефективність  $E$ , значення цих характеристик обчислюються за спеціально розробленими методиками;
- Розробляється графік оцінок, що відповідні об'єктам, виділяються об'єкти, серед яких обирається еталонний;
- Остаточний вибір здійснює об'єкт прийняття рішень на підставі аналізу даних (графіків), оскільки вони показують, як досягається підвищення ефективності.

Якщо множини  $A$  і  $S$  скінченні, а кількість наслідків однакова для кожної альтернативи, то задача прийняття рішень описується у вигляді таблиці 1 [4].

Таблиця 1

Таблиця прийняття рішень в умовах ризику

	$S_1$	$S_2$	...	$S_j$	...	$S_n$	Математичне сподівання корисності альтернативи
$a_1$	$\begin{matrix} u_{11} \\ p_{11} \end{matrix}$	$\begin{matrix} u_{12} \\ p_{12} \end{matrix}$		$\begin{matrix} u_{1j} \\ p_{1j} \end{matrix}$		$\begin{matrix} u_{1n} \\ p_{1n} \end{matrix}$	$Q_1 = M[u_{1j}] = \sum_{j=1}^n u_{1j} p_{1j}$
...							
$a_i$	$\begin{matrix} u_{i1} \\ p_{i1} \end{matrix}$	$\begin{matrix} u_{i2} \\ p_{i2} \end{matrix}$		$\begin{matrix} u_{ij} \\ p_{ij} \end{matrix}$		$\begin{matrix} u_{in} \\ p_{in} \end{matrix}$	$Q_i = M[u_{ij}] = \sum_{j=1}^n u_{ij} p_{ij}$
...							
$a_m$	$\begin{matrix} u_{m1} \\ p_{m1} \end{matrix}$	$\begin{matrix} u_{m2} \\ p_{m2} \end{matrix}$		$\begin{matrix} u_{mj} \\ p_{mj} \end{matrix}$		$\begin{matrix} u_{mn} \\ p_{mn} \end{matrix}$	$Q_m = M[u_{mj}] = \sum_{j=1}^n u_{mj} p_{mj}$

### Висновки

У статті розроблено компонент програмного комплексу управління часом, що являє собою систему прийняття рішень для задач порівняння локальних подій. Було представлено та викладено основні поняття теорії прийняття рішень. Детально досліджено аспекти, які впливають на прийняття управлінських рішень та продемонстровано етапи прийняття динамічних рішень. Проаналізовано моделі прийняття рішень та обрано найефективнішу модель для задач порівнянь – класичний метод. Наведено етапи прийняття рішень та продемонстровано процес розробки раціональних управлінських рішень. Розроблено сервіс прийняття рішень для задач порівняння локальних подій із представленням математичної моделі та табличним демонструванням процесу прийняття рішень в умовах ризику. Наведено приклад програмного реалізації прийняття рішень для задач порівняння подій.

Назва 1 події:  Назва 2 події:

Інтуїтивно приблизно оцініть коштовність події

1 2 3 4 5 1 2 3 4 5

Інтуїтивно приблизно оцініть приємність / необхідність події

1 2 3 4 5 1 2 3 4 5

Інтуїтивно приблизно оцініть важкість виконання події(підготовки)

1 2 3 4 5 1 2 3 4 5

Врахуйте, що для деяких подій необхідно враховувати час на дорогу !

Для допомоги при визначеності ви можете використати :

Наслідки	Якісно та вчасно виконано 1 подію	Якісно та вчасно виконано 2 подію	Якісно та вчасно виконано обидві події	Не виконано жодної події	Очікувана корисність
Альтернативи					
Відмінити (перенести) Домашня їжа	0.11	9.779	0.011	1.1	8.804642
Відмінити (перенести) Піти в кафе	8.001	0.09	0.00900000...	0.9	7.203798
Виконувати обидві подій одночасно (поетапно)	6.0	7.5	9.0	4.5	6.75

**Найкращою альтернативою є відміна (перенесення) події - Домашня їжа**

Рис. 3 Приклад програмного реалізації прийняття рішень для задач порівняння подій

### Література

1. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Глава 9. // Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: Учебное пособие. 2-е изд. — ISBN 978-5-459-00717-6.
2. Процеси прийняття рішень [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/16220/mod\_resource/content/1/Лекція%207.%20Процеси%20прийняття%20рішень.pdf.
3. Метод побудови дерева рішень [Електронний ресурс]. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: ebooktime.net/book\_55\_glava\_102\_6.4.\_Метод\_побудов.html.
4. Колодний В. В. Основи теорії прийняття рішень / В. В. Колодний. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 70 с.
5. Вітлінський В. В. Штучний інтелект у системі прийняття управлінських рішень [Електронний ресурс] / В. В. Вітлінський // Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/15882-SHtuchnijj\\_%D1%96ntelegt\\_u\\_sistem%C3%91/1.html](http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/15882-SHtuchnijj_%D1%96ntelegt_u_sistem%C3%91/1.html).

### References

1. Paklin NB, Oreshkov VI Chapter 9. // Business analytics: from data to knowledge: Textbook. 2nd ed. - ISBN 978-5-459-00717-6.
2. Decision-making process [Electronic resource] - Mode of access to the resource: moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/16220/mod\_resource/content/1/Лекция%207.%20Процеси%20прийняття%20рішень.pdf .
3. Method of building a decision tree [Electronic resource]. - 2012. - Resource access mode: ebooktime.net/book\_55\_glava\_102\_6.4.\_Method\_pobudov.html.
4. Kolodny VV Fundamentals of decision theory / VV Kolodny. - Vinnytsia: VSTU, 2003. - 70 p.
5. Vitlinsky VV Artificial intelligence in the system of management decisions [Electronic resource] / VV Vitlinsky // Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman. - 2011. - Resource access mode: [http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/15882-SHtuchnijj\\_%D1%96ntelegt\\_u\\_sistem%C3%91/1.html](http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/15882-SHtuchnijj_%D1%96ntelegt_u_sistem%C3%91/1.html).

Рецензія/Peer review : 14.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ФОНДІВ

На економіко-інвестиційному полі, яке ми обрали для дослідження, виникають проблеми з розвитком інвестиційних проектів, а саме при розподілі інвестиційних фондів. При вирішенні цих проблем використовують імітаційне моделювання на основі методу Монте-Карло. Проте застосування цього методу на практиці вимагає великої кількості експериментів, що приводить до неможливості отримати рішення в режимі реального часу. Тому виникає необхідність оптимізації обчислювального процесу. У роботі наведено результати досліджень розпаралелення методу Монте-Карло при розв'язуванні задачі оптимізації розподілу інвестиційних фондів на основі порівняльної характеристики застосування двох технологій OpenMP та MPI. Шляхом варіації кількості потоків та експериментів вдалось досягнути прискорення рівному кількості потоків. При цьому слід зауважити, що максимальна кількість потоків не мала перевищувати кількості ядер обчислювальної системи. Отримані результати можуть бути суттєво покращені у зв'язку з перспективами розвитку багатоядерної архітектури комп'ютерів.

**Ключові слова:** метод Монте-Карло, технологія OpenMP, технологія MPI, прискорення, паралельна ефективність.

L.I. MOCHURAD

Lviv Polytechnic National University

### INVESTIGATION OF THE OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION OF INVESTMENT FUNDS

Extensive use of methods of economic and mathematical modeling is an important way to improve economic analysis, which increases the efficiency of management of enterprises in various fields of activity in general. At the same time, modeling based on the Monte Carlo method is becoming increasingly popular.

In the economic and investment field, which we have previously chosen for the application of the Monte Carlo simulation model, there are problems with the development of investment projects, namely the distribution of investment funds. To prevent the risks of losing significant funds and sales of enterprises, we build a simulation model using Monte Carlo, which will be better able to generate developments in a given scenario and thus help predict future investments in progressive enterprises.

In the economic and investment field, there are problems with the development of investment projects, namely the distribution of investment funds. In solving these problems, simulation based on the Monte Carlo method is used. However, the application of this method in practice requires a large number of experiments, which makes it impossible to obtain a solution in real time. Therefore, there is a need to optimize the computational process. The paper presents the results of research on the parallelization of the Monte Carlo method in solving the problem of optimizing the distribution of investment funds based on the comparative characteristics of the two technologies OpenMP and MPI. By varying the number of threads and experiments, it was possible to achieve an acceleration equal to the number of threads. It should be noted that the maximum number of threads should not exceed the number of cores of the computer system. The results can be significantly improved due to the prospects for the development of multi-core computer architecture.

**Keywords:** Monte Carlo method, OpenMP technology, MPI technology, acceleration, parallel efficiency.

### Постановка проблеми

Широке використання методів економіко-математичного моделювання є важливим напрямком удосконалення економічного аналізу, який підвищує ефективність управління підприємствами різних сфер діяльності в цілому. При цьому дедалі більшої популярності набуває моделювання на основі методу Монте-Карло.

На економіко-інвестиційному полі, яке ми обрали попередньо для застосування імітаційної моделі Монте-Карло, виникають проблеми з розвитком інвестиційних проектів, а саме при розподілі інвестиційних фондів. Щоб запобігти ризиків у втраті значних коштів і збуту підприємств ми будемо імітаційну модель із застосуванням Монте-Карло, який як ніяк краще зможе згенерувати розвиток подій при заданому сценарії і таким чином допомогти передбачити майбутні вкладення у прогресуючі підприємства.

У роботі розглядається задача розподілу 10-ти млн. грошових одиниць між десятьма підприємствами, які інвестиційний фонд вважає найуспішнішими. У інвестиційного фонду є інформація про можливий прибуток кожного підприємства в кінці року. Отже, фонд хоче розподілити свої кошти між цими підприємствами, так що він з них отримав максимальний прибуток.

Розв'язання даної задачі на основі методу Монте-Карло передбачає генерацію послідовних випадкових чисел для імітації випадкового вибору величини коштів, виділених кожному такому підприємству, дані дії повторюються багатократно (наприклад 1000 або 1000000 разів). Це в свою чергу, приводить до неможливості отримати рішення в реальному часі. Для вирішення цієї проблеми у роботі запропоновано розпаралелити метод Монте-Карло та порівняти отримані показники прискорення та ефективності на основі технологій OpenMP та MPI.

### Аналіз останніх джерел

Серед усіх методів досліджень та оцінки ефективності систем, у яких поведінка залежить від випадкових факторів важливе місце займає імітаційне моделювання [1]. При цьому модель виступає доволі хорошим способом передбачення наступної поведінки об'єктів чи систем, а саме моделювання –

потенційною можливістю контрольованого експерименту зі зумовленим забезпеченням коштів. Останнє набуло досить широко застосування, у свою чергу захопило не лише науковий простір, а й досить популярним було у стратегіях війн та побуту, побудові атомних реакторів і екологічних систем [2].

Моделювання у Монте-Карло належить до найчастіше використовуваних моделей. Сфери його застосування: промисловість (планування робіт, маршрутизація транспортних засобів, оптимізація), фізичні процеси та структури (моделювання космологічних задач, симуляція руху нейтронів та фотонів), випадкові графи та комбінаторні структури (дослідження теорії перколяції, задача комівояжера), економіка та фінанси, обчислювальна статистика тощо.

У роботі [3] наведено дані про особливості використання імітаційного моделювання методом Монте-Карло для аналізу інвестиційних ризиків, при цьому проаналізовано переваги даного виду моделювання, розглянуто алгоритм застосування імітаційного моделювання для аналізу ризиків інвестиційних проектів в умовах промислового підприємства. Даний метод також використано авторами у роботі [4] при розробці програмного комплексу з метою полегшення прийняття рішення щодо стану промислового об'єкту та умов його експлуатації. Актуальність використання методу Монте-Карло для розподілених обчислень проаналізовано у роботі [5].

Відомо [6], що даний метод має певні недоліки, найбільш суттєвими з яких є: частковий характер розв'язку; зростання обчислювальної складності із збільшенням числа ітерацій.

На сьогодні у зв'язку з перспективами розвитку багатоядерної архітектури обчислювальних систем особливої популярності набуває застосування технологій паралельних обчислень OpenMP та MPI [7, 8]. Статистика використання різних засобів оптимізації методу Монте-Карло шляхом проведення розпаралелення наведена на рис. 1.

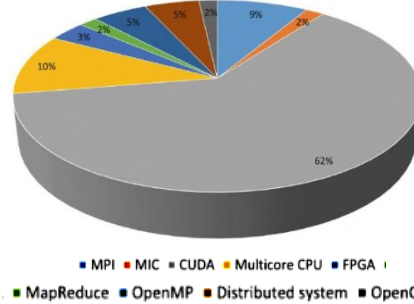


Рис. 1. Розподіл найбільш популярних технологій розпаралелення методу Монте-Карло у сучасних наукових статтях (починаючи з 2009 року)

**Метою роботи є:** розпаралелити метод Монте-Карло для розв'язування задачі розподілу інвестиційних фондів та порівняти отримані результати на основі застосування двох технологій OpenMP та MPI.

**Виклад основного матеріалу**

Розв'язання поставленої задачі на основі методу Монте-Карло [9] передбачає генерацію послідовних випадкових чисел для імітації випадкового вибору величини коштів, виділених кожному такому підприємству, дані дії повторюються багатократно (наприклад, 1000 або 1000000 разів).

Поетапний опис розв'язку задачі здійснюється наступним чином:

Для наведення алгоритму було вибрано для прикладу лише три підприємства.

1. Випадково обирається величина коштів, виділених першому підприємству. Для цього розігрується випадкове число R1 і використовується відповідна формула

$$A = 0, \quad B = 5 : S1 = (0 + (5 - 0 + 1) \cdot R1),$$

де B – загальний фонд інвестицій, а S1 – сума коштів, отриманих першим підприємством.

2. Якщо першому підприємству виділяються не всі кошти (S1 < B), то розігрується величина коштів, що виділятиметься другому підприємству. Для цього розігрується випадкове число R2 і використовується наступна формула

$$A = 0, \quad B = 5 - S1 : S2 = (0 + (5 - S1 - 0 + 1) \cdot R2),$$

де S2 – сума коштів для другого підприємства.

3. Кошти, що/якщо залишилися, виділяються третьому підприємству:

$$S3 = 5 - S1 - S2.$$

4. Згідно з сумами виділених коштів (S1, S2, S3) і за відповідним значенням прибутку розраховується сумарний прибуток підприємства.

Кроки 1–4 повторюються багатократно (наприклад, 1000 разів). Обирається варіант розподілу коштів, за якого значення сумарного прибутку максимальне. Кількість кроків збільшується у разі більших сум інвестицій або більшої кількості підприємств.

Перед початком побудови та вивчення конкретної моделі, перш за все економічної, питання вибору найефективнішого та найзручнішого методу розв'язання поставленої проблеми є дуже важливим і пов'язане з урахуванням можливостей наявних програмних засобів та машинних ресурсах.

Нехай усі чисельні експерименти проводитимуться на комп'ютері з наступними характеристиками:

- Intel Core I5-3337U із тактовою частотою 1.8 ГГц,
- 2 ядра та 4 логічних процеси,
- ОС: Microsoft Windows 10 64 bit.

Далі наведемо результати виконання послідовного алгоритму (див. таблиця 1), а саме кількість

експериментів та час виконання в залежності від кількості експериментів.

Результати виконання паралельного алгоритму із застосуванням технології OpenMP наведені у таблиці 2. Тут  $S_m$  – прискорення,  $P_m$  – паралельна ефективність,  $m$  – кількість потоків.

Таблиця 1

### Результати виконання послідовного алгоритму

Кількість експериментів	Час виконання, мс
100	1,14
1000	6,92
10000	8,06
100000	82,22
1000000	1217,93

Таблиця 2

### Час обчислень та оцінки ефективності запропонованого паралельного алгоритму на основі OpenMP

Кількість експериментів	2 потоки			4 потоки		
	Час, мс	$S_m$	$P_m$	Час, мс	$S_m$	$P_m$
100	2,75	0,4145	0,20725	2,23	0,5112	0,1278
1000	1,43	4,839	2,4195	2,84	2,4366	0,60095
10000	5,38	1,4981	0,74905	7,14	1,1286	0,2824
100000	51,13	1,60806	0,80403	41,53	1,9798	0,494925
1000000	567,5	2,1461	1,07305	308,34	3,94996	0,98749

Результати виконання паралельного алгоритму при розв'язуванні задачі про оптимальний розподіл інвестиційного фонду із застосуванням технології MPI представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

### Час обчислень та оцінки ефективності запропонованого паралельного алгоритму на основі MPI

Кількість експериментів	2 потоки			4 потоки		
	Час, мс	$S_m$	$P_m$	Час, мс	$S_m$	$P_m$
100	0,76	1,4978	0,7489	0,35	3,2437	0,810925
1000	2,86	2,4229	1,21145	2,23	3,098997	0,774743
10000	2,89	2,787	1,3935	,233	3,61933	0,904833
100000	32,64	2,52907	1,264534	21,7	3,7889	0,947225
1000000	337,4	3,6098	1,8049	313,38	3,8864	0,9716

Порівняння паралельної ефективності для двох технологій на двох та чотирьох потоках наведено на рис. 2 і 3.

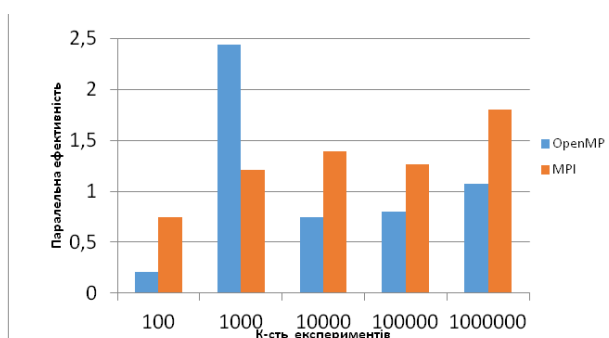


Рис. 2. Паралельна ефективність для двох технологій на двох потоках

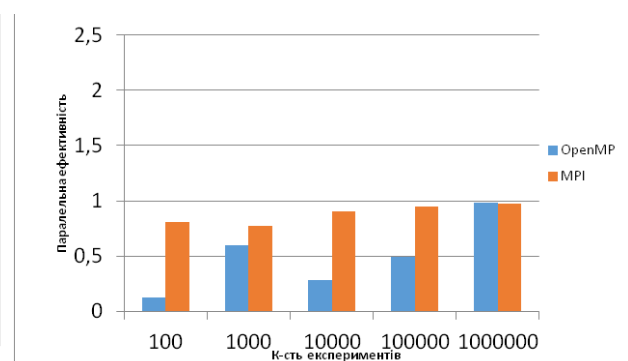


Рис. 3. Паралельна ефективність для двох технологій на чотирьох потоках

### Висновки

Експериментальним шляхом досліджено показники прискорення та ефективності паралельного алгоритму методу Монте-Карло при розв'язуванні модельної задачі оптимального розподілу інвестиційного фонду. При розробці програмного продукту використано дві технології OpenMP та MPI. Здійснено порівняння прискорення та ефективності, яке отримане на основі цих двох технологій при різній кількості ітерацій методу та потоків. Чисельні експерименти проводились на багатоядерній архітектурі комп'ютера,

тобто дане дослідження має місце для систем із спільною пам'ятю. Перспективами розвитку запропонованого підходу є використання технології CUDA.

### Література

1. Філіпова К.В. Методи прогнозування інноваційного розвитку підприємства / К.В. Філіпова // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2007. – № 579 : Проблеми економіки та управління. – С. 609–613.
2. Венгріна І.Є. Досвід застосування імітаційного моделювання у дослідженнях соціальних явищ та процесів / І.Є. Венгріна // Наукові записки НаУКМА. – Том 122, 2011. – Р. 14-18.
3. Латишева О.В., Титаренко О.Д. Особливості використання імітаційного моделювання для оцінки ризиків інвестиційних проектів промислового підприємства / О.В. Латишева, О.Д. Титаренко // Вісник економічної науки України. — 2017. — № 2 (33). — С. 77–82.
4. Бойко Т.В., Абрамова А.О., Вавулін П.А., Бондаренко С.Г. Програмне забезпечення процесу оцінювання техногенного ризику промислового об'єкту / Т.В. Бойко, А.О. Абрамова, П.А. Вавулін, С.Г. // Комп'ютерне моделювання природоохоронних процесів. – 2020. – С. 329-335.
5. Пішта, Я.В. Метод Монте-Карло в паралельних обчисленнях / Я.В. Пішта // Сучасні інформаційні системи і технології : матеріали Першої міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 15-18 травня 2012 р. / Ред.кол.: А.С. Довбиш, О.А. Борисенко, І.В. Баранова. — Суми : СумДУ, 2012. — С. 102-104.
6. Dirk P. Kroese, Tim Brereton, Thomas Taimre, Zdravko I. Botev. Why the Monte Carlo method is so important today. *Wires Computational Statistics*. Vol. 6, Issue 6, 2014, P. 379-475.
7. Lesia Mochurad, Glib Shchur. Parallelization of Cryptographic Algorithm Based on Different Parallel Computing Technologies. *Proceedings of the Symposium on Information Technologies & Applied Sciences (IT&AS 2021)*. Bratislava, Slovak Republic, March 5, 2021, Vol-2824, ISSN 1613-0073, 20-29 p.
8. Mochurad L.I. Technologies of distributed systems and parallel computation: monograph / L.I. Mochurad, N.I. Boyko. – Lviv: Publishing House "Bona", 2020. – 261 p. ISBN 978-617-7815-25-8.
9. Erik Alerstam, Tomas Svensson, and Stefan Andersson-Engels. Parallel computing with graphics processing units for high-speed Monte Carlo simulation of photon migration. *Journal of Biomedical Optics*, Vol. 13(6), 2008, 3 p.

### References

1. Filipova K.V. Methods of forecasting of enterprise innovation development / K.V. Filipova // *Visnyk of the National University "Lviv Polytechnic"*. - 2007. - №. 579: Problems of Economics and Management. - P. 609-613.
2. Gengrin I.E. Experience of using simulation modeling in social phenomena studies and processes / I.E. Greengrin // *Scientific notes of NaUKMA*. - Tom 122, 2011. - P. 14-18.
3. Latisheva O.V., Titarenko O.D. Features of the use of simulation modeling to assess the risks of investment projects of an industrial enterprise / O.V. Latisheva, O.D. Titarenko // *Visnyk of Ukraine's economic science*. – 2017. - №. 2 (33). – P. 77-82.
4. Boyko T.V., Abramova A.O., Vapulin P.A., Bondarenko S.G. Software for evaluating the industrial risk assessment of an industrial facility / T.V. Boyko, A.O. Abramova, P.A. Vapulin, S.G. // *Computer modeling of environmental processes*. – 2020. – P. 329-335.
5. Pista, Ya.V. Monte Carlo method in parallel calculations / Ya.V. Pista // *Modern Information Systems and Technologies: Materials of the First International Scientific and Practical Conference, Sumy, May 15-18, 2012* / Editorial Board: A.S. Dovobysh, O.A. Borisenko, IV Baranov. – Sumy: SSU, 2012. – P. 102-104.
6. Dirk P. Kroese, Tim Brereton, Thomas Taimre, Zdravko I. Botev. Why the Monte Carlo method is so important today. *Wires Computational Statistics*. Vol. 6, Issue 6, 2014, P. 379-475.
7. Lesia Mochurad, Glib Shchur. Parallelization of Cryptographic Algorithm Based on Different Parallel Computing Technologies. *Proceedings of the Symposium on Information Technologies & Applied Sciences (IT&AS 2021)*. Bratislava, Slovak Republic, March 5, 2021, Vol-2824, ISSN 1613-0073, 20-29 p.
8. Mochurad L.I. Technologies of distributed systems and parallel computation: monograph / L.I. Mochurad, N.I. Boyko. – Lviv: Publishing House "Bona", 2020. – 261 p. ISBN 978-617-7815-25-8.
9. Erik Alerstam, Tomas Svensson, and Stefan Andersson-Engels. Parallel computing with graphics processing units for high-speed Monte Carlo simulation of photon migration. *Journal of Biomedical Optics*, Vol. 13(6), 2008, 3 p.

Рецензія/Peer review : 11.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

## КЛАСИФІКАЦІЯ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ

Стаття містить інформацію про результати створення класифікації віртуальних спільнот, як одного із засобів комунікації. Надається огляд перших досліджень терміну «віртуальна спільнота», де авторами визначено значення такої інформаційної технології для суспільства. Також проаналізовано останні дослідження зроблені науковцями у сфері віртуальних спільнот. Згенеровано формули оцінки показника розвитку та відповідності віртуальної спільноти тематиці віртуальної спільноти та кількісних характеристик. Також з використанням інструментів уніфікованої мови моделювання (Unified Modeling Language) було створено діаграму структури, взаємозв'язків між важливими компонентами в діяльності віртуальної спільноти. Обґрунтовано думку, щодо важливості вивчення усіх необхідних показників для роботи з віртуальними спільнотами.

Ключові слова: віртуальна спільнота, комунікація, інформація, користувач, програмне забезпечення, взаємозв'язок, інформаційні технології, аналіз, опрацювання, обмін.

R.S. PAZDERSKA, O.V. MARKOVETS

Lviv Polytechnic National University

### CLASSIFICATION OF VIRTUAL COMMUNITIES

The article contains information about the need to create a classification of virtual communities as one of the means of communication. An overview of the first studies of the term "virtual community", where the authors identified the importance of such information technology for society. The latest research conducted by scientists in the field of virtual communities is also analyzed.

The need to create a tool for classifying virtual communities, due to the congestion of the Internet with low-quality sources of information, has been identified. Clogging up virtual communities that can be useful in the activities of any structure online. According to the analysis, the classification of virtual communities was formulated, considering their areas and technologies of creation: the degree of community development, the purpose of the community, the subject of the community, the geographical location of participants, the form and language of community use. A formula for estimating the indicator of the development of the virtual community and the quantitative characteristics that precede it is generated. The effectiveness of the presented method is to study the activities of community members through their reactions to published information. The method of assessing the relevance of the virtual community to the topic, which is determined by a sound formula, is presented. The method allows to analyze the subject matter of publications and activities of community members. Also, using Unified Modeling Language tools, a diagram of the structure, relationships between important components in the virtual community: client, administrator, participant, content, and software was created. The definition of the influence of these subjects and objects on the activity of the community is given. The opinion on the importance of studying all the necessary indicators to work with them is substantiated.

Keywords: virtual community, communication, information, user, software, interconnection, information technology, analysis, processing, exchange.

### Постановка проблеми

Тенденції розвитку сучасних інформаційних технологій спрямовані на ведення комунікації в усіх сферах людської діяльності. Спільноти, різного типу та масштабів формуються для того, щоб забезпечити середовище зв'язку, обміну та поширення інформації, відповідно до сформованого запиту їх створення. Причиною створення віртуальних спільнот часто є події, потреби, які спричинені нестабільним станом світової економіки, політики, освіти, науки, наприклад, сьогодні з поширенням вірусу COVID-19 та ін. Інформаційний простір перевантажений надлишковою інформацією, спотвореною задля здійснення того чи іншого впливу на людей. Звертаючи увагу на те, що віртуальних спільнот, де можна знайти корисну інформацію не так багато, виникає потреба дослідження можливих рішень оптимізації роботи віртуальних спільнот.

Проте для того, щоб сформувати відповідні техніки організації роботи віртуальних спільнот, які постають перед користувачами, як своєрідний онлайн-майdanчик обміну інформацією між соціальними групами; простір спілкування на різні теми та представлення своїх думок іншим групам людей з використанням засобів цифрових мереж; явище представлене в інформаційному просторі для зв'язку громадськості з використанням технологій мережі Інтернет; для нас важливо їх розробити.

### Аналіз останніх досліджень

Чимало науковців працювали у сфері віртуальних спільнот. Засновником терміну «віртуальна спільнота» вважають Гаварда Лі Рейгольда, який був автором видання «The Virtual Community: Homesteading on the Electronic Frontier» [14]. Написання публікації припадає на 20 ст. Поштовхом до написання книги була стаття «Electronic Safe» Джина Янгблада, де був вперше використаний сам термін. Автор розглядає спільноту, як фізичне явище, місце де люди ведуть дискусії, об'єднуються, поширюють не завжди правдиву інформацію, але водночас знаходять підтримку. Подається інформація у вигляді коротких історій людей, в житті яких віртуальні спільноти за різних обставин відіграли значну роль.

Після перших суджень, щодо «віртуальних спільнот» багато науковців почали працювати над дослідженням їхнього призначення та обґрунтовувати висловлювання «для чого людству потрібні «віртуальні спільноти»».

Одним із таких був Луїс Анхель Фернандес Ерман він стверджував про те, що поява інформаційних технологій зробила великий переворот, а «віртуальні спільноти» не є винятком. Люди почали володіти

інформацією лише з доступом до мережі [13]. Почали створюватися спільноти однодумців та людей, які прагнуть робити зміни у різних напрямках: політиці, освіті, культурі та ін. Найголовніше те, що з'явилося середовище формування взаємодії між ними.

Щодо останніх досліджень у цьому напрямку вони були проведені такими науковцями: Малихін О.В., Арістова Н.О., Трач О.Р., Пелешишин А.М., Молодецька К.В., Тимонін Ю.В. та ін. Дослідження стосувалися розробок, що стосувалися створення спільнот для педагогів, інформаційного протистояння у середовищі віртуальних спільнот, способів поширення інформації та аналіз стратегій їх ведення. Представляли цікаві формальні моделі віртуальних спільнот, структури їх побудови, технології створення та напрямки розвитку віртуальних спільнот, які широко використовуються суспільством. Усі проведені роботи окреслювали лише конкретний сегмент використання віртуальних спільнот [1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12].

**Метою роботи є:** створення класифікації віртуальних спільнот, залежно від визначених характеристик. З використанням засобів моделювання зобразити взаємодію та необхідність важливих для спільноти компонентів. Описати можливі методи створення віртуальних спільнот з використанням створеної класифікації.

### Формування цілей статті

Застосувати розроблені методи класифікації віртуальних спільнот, які сприятимуть їх кращій роботі, а відповідно до цього допоможуть інформаційно забезпечити потреби користувачів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Робота будь-якого виду технології залежить від чітко визначених її особливостей, які необхідно врахувати перед створенням. Аналіз розробником, яких допоможе у проектуванні та задоволенні потреб користувачів. Щоб досягти великих результатів у веденні спільнот потрібно розробити стратегію. Так як у період, коли зростає кількість користувачів віртуальних спільнот виникає потреба навиків їх класифікації, які допоможуть оцінити наскільки вони ефективно працюють. Дозволить сформулювати план розвитку спільноти. Її опис покаже специфіку кожного виду віртуальних спільнот залежно від визначених характеристик, адже кожна із них має визначені правила, щодо забезпечення якісної роботи. Класифікація будувалася, відповідно до сучасних сфер та технологій використання віртуальних спільнот, представлена на рис. 1.

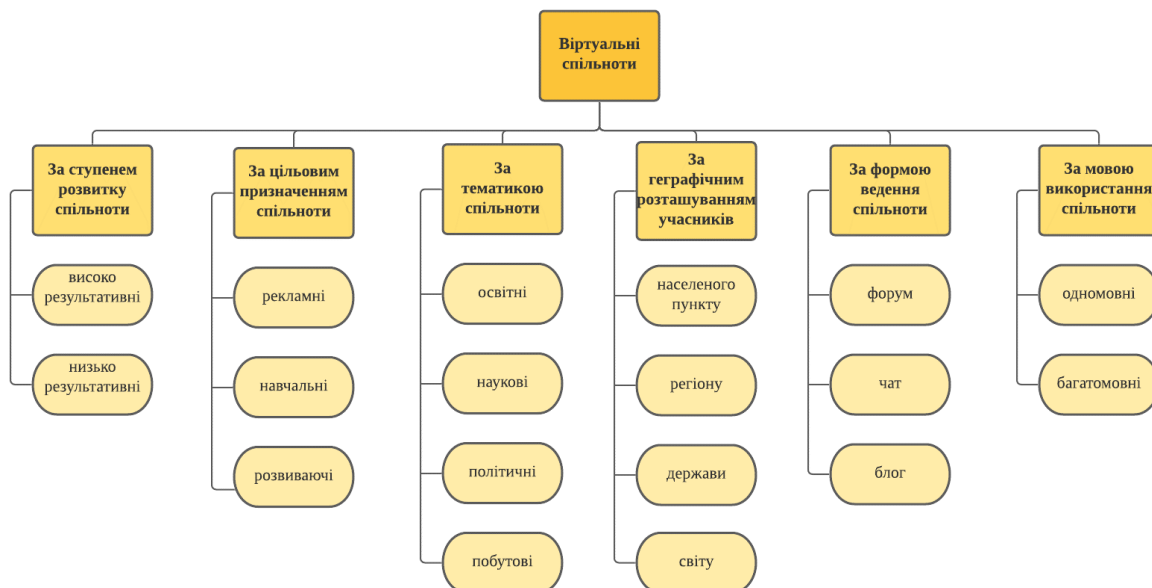


Рис. 1. Класифікація віртуальних спільнот відповідно до їх особливостей

Відповідно, віртуальні спільноти класифікуються за визначеними ознаками:

**За ступенем розвитку спільноти** (визначається на скільки активно формується контент у віртуальній спільноті): високо результативні, низько результативні.

**За цільовим призначенням спільноти** (визначається на основі обґрунтованих адміністратором цілей віртуальної спільноти): рекламні, навчальні, розважальні.

**За тематикою спільноти** (визначається на основі аналізу професійних характеристик адміністратора та учасників віртуальної спільноти): освітні, наукові, політичні, побутові.

**За географічним розташуванням учасників** (визначається відповідно аналізу географічного розташування учасників віртуальної спільноти): населеного пункту, регіону, країни, світу.

**За формою ведення спільноти** (визначається зважаючи на вид програмного забезпечення, який використовується для створення віртуальної спільноти; або відповідно сфери діяльності, яку буде представляти спільнота): форум, чат, блог.

**За мовою використання спільноти** (визначається на основі аналізу характеристик учасників та наповнення віртуальної спільноти): одномовна, багатомовна.

Визначення рівня розвитку віртуальної спільноти можна провести врахувавши кількісні

характеристики учасників. Проте, варто розрізняти, що існують зареєстровані та активні учасники, які беруть участь в її діяльності. Зареєстрований учасник – користувач, який має створений обліковий запис в онлайн спільноті. Щодо визначення активного учасника, то – користувач, який за певний час має визначені кількісні характеристики (вподобання, коментарі, поширення):

Вподобання – вид реакції визначений певними правилами оцінки інформації представленої в онлайн-спільноті.

Поширення – вид реакції створеної з метою популяризації інформації онлайн-спільноті.

Коментар – вид реакції текстового або графічного формату, яка створена користувачем для оприлюднення його думки стосовно опублікованої інформації в онлайн-спільноті.

Для того, щоб визначити тип учасника віртуальної спільноти необхідно порахувати кількість його реакцій за день:

$$ActiveUser = Like + Comment + Share, \quad (1)$$

де  $ActiveUser$  – активність користувача, тобто якщо  $ActiveUser > 100$  за місяць, то учасник спільноти бере активну участь у спільноті, якщо  $ActiveUser \leq 100$ , то учасник віртуальної спільноти є лише читачем інформації.

$$Like = \sum_{i=1}^n Like_i - \text{кількість вподобань дописів за визначений період};$$

$$Comment = \sum_{i=1}^n Comment_i - \text{кількість коментарів за визначений період};$$

$$Share = \sum_{i=1}^n Share_i - \text{кількість поширень дописів за визначений період}.$$

Зважаючи на важливість описаних кількісних показників, нами було окреслено *метод розрахунку показника розвитку віртуальної спільноти*:

$$DevelopmentVC_i = \frac{ActiveUser_i}{RegisteredUser_i} \times 100, \quad (2)$$

де  $DevelopmentVC_i$  – показник розвитку віртуальної спільноти.

$ActiveUser_i$  – кількість активних учасників;

$RegisteredUser_i$  – кількість зареєстрованих учасників;

Дослідним шляхом на основі аналізу статистики віртуальних спільнот, ми приймаємо за основу таке твердження, якщо показник розвитку  $< 50$  – низько результативна,  $\geq 50$  – високо результативна.

*Високо результативна віртуальна спільнота* – це спільнота, діяльність учасників якої підтверджена певною кількістю реакцій на опубліковану в ній інформацію. Ці реакції впливають на зростання показників учасників. Спільнота характеризується наявністю як короткострокових (одноразового використання конкурс, захід, подія та ін.) так і довгострокових тем (повторюються регулярно у визначений час). Робота адміністратора полягає в контролі активності учасників віртуальної спільноти. Створення ним стратегії розвитку, яка дозволяє побачити роль учасника, інформаційного наповнення, програмного забезпечення у діяльності спільноти. Учасник оцінивши публікацію з використанням реакції показує наскільки представлена інформація була корисною. Перетворення зареєстрованих учасників в активних учасників віртуальної спільноти. Інформаційне наповнення у свою чергу повинно бути продуманим, структурованим та цікавим. Зважаючи на необхідність легкості доступу, управління та обміну на результативну спільноту впливає середовище, у якому вона реалізовує свою діяльність. Тільки якісно оцінивши міру впливу кожної компоненти віртуальної спільноти можна зробити її результативною.

*Низько результативна віртуальна спільнота* – це спільнота, яка характеризується засміченням інформаційного простору, низьким або середнім рівнем активності учасників. Публікується інформація різних сфер, проте вона не є структурованою. Нема визначених правил ведення. Створюється з якоюсь метою, але через недостатність навиків роботи адміністраторів занепадає. Відсутність стратегії розвитку робить її не корисною для учасників. Так як вони не працюють на отримання результату, а лише для поширення їм необхідної інформації. Через неструктурованість контенту публікацій інформація часто губиться і залишається неоціненою ніким. Передбачити терміни існування такої спільноти не можливо.

Класифікація віртуальних спільнот за видом **цільового призначення** має обґрунтовані характеристики, щодо її інформаційного наповнення. Зважаючи на те, що наповнення формується при створенні віртуальної спільноти, необхідно чітко визначити її цілі, так як на основі цілей, які визначені адміністратором спільноти визначається її цільове призначення. У свою чергу цільове призначення визначається сферою використання спільноти. Дослідивши цілі віртуальних спільнот було виділено матеріальні та нематеріальні. Перші передбачають отримання фінансової вигоди у випадку їх виконання. Другий вид являє собою отримання позитивного результату через виконання встановлених цілей. Нематеріальні цілі, які компанія-представник спільноти хоче поширити вказують в частині опису

віртуальної спільноти. Відповідно до цільового призначення, віртуальні спільноти варто розподіляти на рекламні, навчальні та розважальні.

*Рекламні віртуальні спільноти* – це спільноти, які створюються з метою просування певних продуктів/послуг серед її учасників. Вигода може бути як в грошовому еквіваленті (матеріальна), або заохоченні користувачів (нематеріальна) в аналізі їхніх реакцій на дописи. Спільнота має відповідати виду послуги, яка просувається у віртуальній спільноті. При створенні таких спільнот особлива увага надається інформаційному наповненню спільноти, яке як раніше зазначалося повинно відповідати її цілям. Щодо основних цілей рекламної віртуальної спільноти, то вони визначаються у поширенні інформації про продукт чи послугу серед учасників віртуальної спільноти. Також реалізація цілей відбувається за рахунок залучення користувачів для поширення цієї інформації в інших спільнотах. Особливістю рекламної спільноти є те, що учасники можуть бути рекламодавцями, які генерують контент; так і один власник може бути рекламодавцем. Контент у таких спільнотах переважає графічний, або може бути спеціальний, де в коментарях учасники ведуть обговорення характеристик. Це може бути поширення контактної інформації, реквізитів на платежів тощо.

*Навчальні віртуальні спільноти* – це спільноти орієнтовані на поширення інформації про навчальну діяльність закладів освіти або суб'єктів надання освітніх послуг. Ці спільноти орієнтовані в першу чергу на поширення інформації про навчання, про організацію навчального процесу, організацію заходів, курсів підвищення кваліфікації та ін. Спільноти актуальні для різного типу навчальних організацій державного та приватного типу. Адміністратори таких спільнот створюють дописи із завданнями, повідомленнями, а учасники спільноти дають свої реакції на них. Навчальні віртуальні спільноти можуть використовуватися громадськими організаціями для допомоги студентам чи учням відкрити освоїти нові знання. Вони також сприяють самоорганізації користувачів, організації різноманітних заходів офлайн. Ще одним з суб'єктів навчального процесу, які використовують віртуальні спільноти є заклади підвищення кваліфікації. Орієнтовані на допомогу в створенні навчальних спільнот як джерела інформації про навчальні процеси. Наповнення таких спільнот характеризується наявністю інформації графічної та текстової форми, наприклад, графік роботи, опис події, додаткових занять та форм екзаменаційного контролю.

*Розважальні віртуальні спільноти* – це спільноти спрямовані на покращення людського світосприйняття через публікацію інформації у жартівливому сегменті. Позиціонування думок, явищ, досліджень, фотографій, які можуть бути цікаві користувачам різних сфер з використанням мемів. Мем – це графічне зображення чи відео з використанням гумору. Адміністратори спільнот такого напрямку працюють над пошуком необхідного для них контенту з фільмів, мультфільмів, інтерв'ю, щоб написати до них текст. Ретельно підходять до розробки наповнення, використовуючи сучасні інструменти обробки фото та відео. Учасники розважальних спільнот проявляють свою активність через присвоєння своїх реакцій дописам. Кількість публікацій створених на протязі дня значно більша в порівнянні з іншими видами віртуальних спільнот. Це пов'язано з надмірною активністю учасників, яких потрібно постійно тримати в інформаційному середовищі.

Напрямок діяльності, який обирає адміністратор в процесі створення плану роботи віртуальної спільноти називається тематикою. В подальшому для оцінки рівня відповідності визначеній тематиці аналізується тип дописів учасників спільноти відповідно до напрямку діяльності, який відповідає обраній тематиці адміністратора. В результаті *метод оцінки відповідності тематиці віртуальної спільноти* буде мати такий вигляд:

$$TopicalVC = \frac{TopicPost_i}{Post_i} \times 100, \quad (3)$$

де  $TopicalVC$  – показник тематичності спільноти;

$TopicPost = \sum_{i=1}^n TopicPost_i$  – кількість публікацій, що відповідають тематиці віртуальної спільноти за визначений період;

$Post = \sum_{i=1}^n Post_i$  – кількість дописів за визначений період.

Якщо кількість дописів віртуальної спільноти відповідно одній тематиці становить  $> 50$  – спільнота працює в одному напрямку. Нижчий показник –  $\leq 50$  зацентрує увагу на те, що спільнота потребує ребрендингу (використання стратегії змін) у роботі з учасниками, наповненням, середовищем. Відповідно нами було визначено такі види спільнот за **тематикою**: освітні, наукові, політичні та побутові.

*Освітні віртуальні спільноти* – це віртуальні спільноти створені з метою інформування та навчання користувачів різних галузей знань про події освіти. Школярі, студенти та працівники цільова аудиторія. Корисні повідомлення про реформацію, практику, освітні ресурси та ін. Онлайн навчання вже давно стало трендом, який економить кошти, дозволяє розвиватися у зручному для користувачів місці, не витрачаючи багато часу. Адміністратори таких спільнот створюють інформативні дописи з вмістом тексту, зображень та відео. Освітні спільноти закріплені за організаціями, які ведуть діяльність в такому сегменті. Активність учасників визначається у виявленні різного типу реакцій. Такі спільноти співпрацюють із закордонними



структурами освіти для об'єднання в розвитку цієї сфери.

*Наукові віртуальні спільноти* – це спільноти, які створюються для популяризації інформації стосовно різних питань розвитку науки. Вони бувають одноразового та багаторазового використання. Онлайн спільноти конференцій, виступів, майстер-класів. Анонсування інформації про заходи і всі їх деталі (спікери, регламент, локація). Науковим організаціям важливо мати свій віртуальний майданчик, де вони розказують про свої проекти. Виступають своєрідним майданчиком обміну знаннями, досвідом та шансом піднести рівень науки «без кордонів». Люди, які прагнуть працювати з партнерами інших країн, досліджувати нові науки отримують можливість практикувати науки з використанням сучасних інформаційних технологій. Публікуючи повідомлення, щодо їхньої діяльності про них завжди будуть знати та коло учасників теж буде рости. Зважаючи на те, що наука зараз знаходиться на рубежі розвитку. Їхня результативність може бути представлена у формі надання рекомендацій, щодо схожих структур. Описуючи їхні цінності, принципи з наданням посилань на їхні сторінки.

*Політичні віртуальні спільноти* – спільноти діяльність, яких полягає в поширенні, обговоренні, просуванні подій, особистостей політичної сфери країни та світу в мережі Інтернет. Формуються для обговорення, інформування суспільства про події політичного життя в межах регіону, країни, світу. Інформація розповсюджена у таких спільнотах може стосуватися окремої політичної сили або особи, яка її представляє. Задля комунікації з громадою, що поділяє їхні інтереси та підвищення показників своїх рейтингів. Зображення реалізу їхніх виступів, що стосуються їхніх законопроектів. Якщо ж спільнота представляє особу, яка прагне підтримки людей не тільки очно, а й онлайн інформуючи їх щодо політичних настроїв, переконань, зустрічей та ін. Наприклад, кандидат на посаду мера проводить свою кампанію організовуючи зустрічі з громадою, йому потрібно засіб комунікації та пропагування – віртуальна спільнота. Громадські організації робота, яких вимагає постійного моніторингу своїх соратників. Через те онлайн спільноти публікують опитування, дискусії для оцінки думки їх учасників. Контент завжди повинен бути легким на сприйняття учасників різного віку. Зображення та відео з громадою, дітьми переважають.

*Побутові віртуальні спільноти* – це спільноти, які являють собою додаткове джерело інформації з різних питань соціального життя людини в мережі Інтернет. До цього виду можна віднести онлайн спільноти, де люди обмінюються контактами, думками, ведуть обговорення. Визначаються у предствлені текстової інформації на різні питання соціального життя людини. Віртуальний простір дозволяє користувачам з різних географічних точок ділитися цікавою інформацією, допомагати у питаннях побуту продаж, ремонт, продукти, послуги. Вони можуть бути каналом просування рекламних спільнот, так як їх активність завжди дуже продуктивна. Опублікована інформація не завжди може бути коректною, проте такі спільноти можуть отримувати фінансову вигоду через просування.

Знання мов сьогодні дає дуже багато можливостей у роботі інформатизованими технологіями. Взаємодія з користувачами мовою, яка найбільше використовується суспільством робить приблизно на 15% успішною віртуальну спільноту. Адже багато учасників долучаються для того, щоб бути в курсі останніх новин, але майже половину від загальної кількості складають ті, хто вивчають мову і хочуть знати більше про використання лексики від носіїв. Зважаючи на це варто розділяти віртуальні спільноти за **мовою використання**: одномовна (країна/регіон), багатомовна (декілька мов в межах країни/регіону).

Переважає більшість користувачів використовують ту чи іншу веб-спільноту через регіон чи країну, яку вона представляє. Зіставляючи таку інформацію з власним **місцем розташування**, доцільно класифікувати віртуальні спільноти залежно від: населеного пункту, регіону, держави та світу. *Віртуальні спільноти населеного пункту* характеризуються інформацією про заходи в межах одного населеного пункту (наприклад, селища чи міста). Її веденням часто займається орган місцевого самоврядування (селищна або міська рада). Інформація стосується сесійних оголошень, подій. Кількість учасників змінюється несуттєво, так як її учасниками є лише жителі. Містить зображення громади та інформативний текст. Щодо *віртуальних спільнот регіону*, то тут коло учасників трохи більший, але теж надто не варіюється (наприклад, область, район). Вигляд наповнення не відрізняється від попереднього аналізу. Якщо говорити про віртуальні спільноти держави чи світу, то це масштабні спільноти, які часто бувають розвиваючими та політичними. Охоплюють велику кількість учасників, проте вимагають ретельного відбору та коректності інформації.

**Форма ведення** спільноти впливає на дуже багато людських факторів, а особливо на зручність та можливість використання функцій програмного забезпечення. Зважаючи на таке явище, було визначено такі види віртуальних спільнот: форум, чат, блог. Кожен з них має свої особливості, на які варто звернути увагу.

*Форум*. Вид віртуальної спільноти, інтернет ресурс для обговорення різних тем. Характеризується тим, що користувач перш ніж стати учасником повинен зареєструватися (заповнити форму особистими даними, згенерувати логін та пароль). Зручність використання форуму визначається в можливості обговорення різних питань в одному середовищі. Інформація структурується відповідно до тем, які обговорюються. Через доступні різноманітні засоби фільтрування (перегляд інформації за визначені періоди). Аналізуючи сфери використання форумів популярними є наука, навчання та побут. Де учасники можуть вільно комунікувати створивши теми для обговорення (шкільні форуми з назвами дисциплін, наукові форуми з обговорення досліджень та ін.). Адміністратором може бути один учасник, так і декілька кому надані такі права У такому середовищі також можливе надсилання повідомлень двох видів: приватні та публічні. Форуми не потребують особливих навиків роботи, тому легкі в освоєнні. Для того, щоб

розширити можливості учасника використовуються додаткові інструменти (додатки). Наприклад, XenFogo – це програмне забезпечення, яке допоможе створити середовище у вигляді форуму та краще організувати роботу віртуальної спільноти. Написаний з використанням мови PHP, використання ресурсу платне. Дозволить аналізувати активність аудиторії, швидко реагувати на запити, гарантує безпеку даних, збереження з допомогою хмарного середовища та ін. Розробники обговорюють технічні особливості з своїми користувачами. Проводивши вебіари для обміну думками та досвідом.

**Чат.** Вид соціального середовища, де користувачі обмінюються повідомленнями. Характерними особливостями чату, як віртуальної спільноти є те, що ресурс має вигляд звичного онлайн-листування з використанням відповідного програмного забезпечення. Де кожен учасник може бути адміністратором, так і визначена особа. У такому середовищі публікації бути представлені у вигляді коротких, або довгих повідомлень з різного типу інформацією (текст, зображення, відео). Проте, вимоги до розміру цих повідомлень визначаються політикою програмного забезпечення. Сферами використання чату можуть бути просування (комунікація, щодо деталей продукту чи послуги), навчання (поширення ресурсів, опитувань, матеріалів), тощо. Чат може бути прив'язаним до віртуальної спільноти, або існувати як окремий месенджер для обміну інформації з використанням мережі (Messenger, Direct, Viber, Telegram). Наприклад, ManyChat – це платформа швидкого створення цифрових асистентів для сучасних соціальних мереж. Можливість створення чат-бота, швидке освоєння його можливостей, прості інструменти (формування запитань та відповідей), отримання звіту за визначені періоди, можливість безкоштовного використання.

**Блог.** Визначення полягає у зображенні інформації конкретними особами на різні теми життя. Специфікою використання блогу, як віртуальної спільноти є те, що керувати нею може визначений учасник. Переважають публікації графічного та відео контенту з мінімальним використанням тексту. Де учасники можуть проявляти свою активність через реакції. Особливістю блогу є об'єднання інформації в окремі рубрики у вигляді відео, зображень та тексту. Якщо блог є частиною соціальної мережі можливе надсилання різного типу повідомлень (приватні, публічні). Окремі користувачі створюють його як щоденник, де описують події життя; інші для навчання, як один із видів джерела знань з будь-яких сфер. Для створення блогу існує надзвичайно багато програмного забезпечення, одним з таких для прикладу є Wix.com – платформа для створення блогу. Згідно проаналізованого досвіду багатьох користувачів, легкий для освоєння. Дозволяє використати шаблон, налаштувати усі необхідні відображення інтерфейсу, поширити його на різних ресурсах, також доступна безкоштовна версія.

Деталізувавши зміст зображеної класифікації видів віртуальної спільнот, отримали інструмент-ознайомлення залежно від їх визначених характеристик (рис. 1). Використовуючи створену класифікацію, ми зможемо не лише створити стратегію розвитку спільноти, але й проаналізувати відповідність вже створеної спільноти зважаючи на описані її особливості.

Проаналізувавши область створення віртуальних спільнот, нами визначено основні складові часті, яких на етапі створення чи ведення діяльності спільнот дуже значима (рис. 2). Використовуючи можливості UML, розроблено схематичне представлення взаємодії життєвоважливих компонентів віртуальної спільноти. Так як вона найкраще дозволяє представити взаємозв'язок сутностей, інтерфейсів та компонентів.

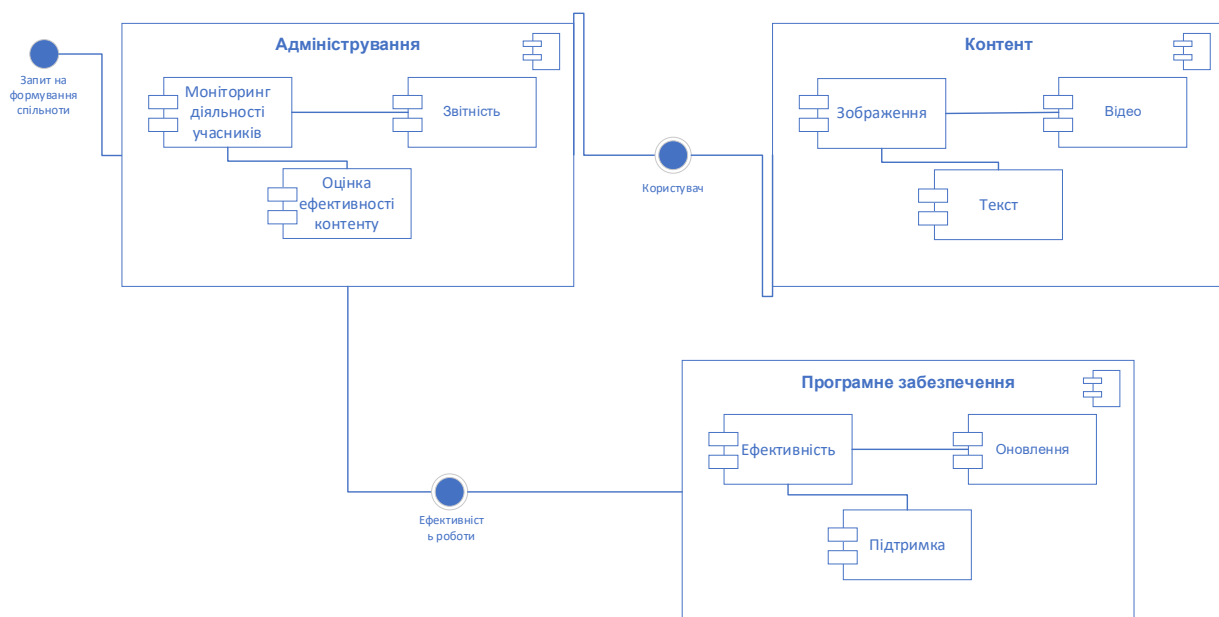


Рис. 2. Взаємозв'язок важливих складових віртуальної спільноти

Перш за все, варто згадати про клієнта. У спільнотах соціального типу він є модератором формування потреби у віртуальній спільноті. Визначає бюджет, задає необхідні йому цілі, тематику та ін. Саме від нього надходить запит на створення спільноти. Клієнтом може бути як одна особа, так і група осіб,

що виявляють потребу в створенні віртуального середовища.

Відповідальним за інформаційне наповнення віртуальної спільноти виступає адміністратор, або smm-менеджер, який формує стратегію по презентації різних типів контенту (текст, зображення, відео, опитування). Формує звітність перед клієнтом за визначені періоди роботи. Аналізує активність користувачів, їхні потреби. Необхідність додаткових засобів просування спільноти.

Учасник – це ключовий споживач контенту в діяльності віртуальних спільнот. Людина для якої формується наповнення, аналізуються визначені потреби, канали впливу та активність проявлена у віртуальному середовищі. Для нього важливими такі критерії як візуальне представлення, інформативність, програмне забезпечення та можливості, які надає використання віртуальної спільноти.

До наступної складової існування віртуальної спільноти варто віднести, контент. Адже, він формує основний споживацький попит на інформацію, яка буде позиціонуватися, як вона буде подаватися та наскільки довго вона зможе втримати своїх користувачів. Не потрібно боятися експериментів з подання різного виду інформації: текст, зображення, відео, опитування. Основною вимогою, як не важко здогадатися максимальна інформативність та корисність; можливість висловити свою думку, обговорити та поділитися своїми судженнями.

Програмне забезпечення, виступає своєрідною оболонкою роботи з віртуальною спільнотою. Так як від нього залежать можливості, ефективність, функціональність проведення різного типу операцій. Можливість оновлення, швидкого освоєння структури та допомоги з боку розробників. Зараз існує дуже багато різних технологій розробки віртуальних спільнот. Проте, їх використання не завжди вирішує запити сформовані користувачами.

### Висновки

Зважаючи на вище сказане, “віртуальна спільнота” – це простір, успішність роботи якого залежить від безлічі компонентів, таких як: клієнт, адміністратор, учасник, контент та програмне забезпечення. Для того, щоб краще зрозуміти їхню природу було створено класифікацію віртуальних спільнот. Skorиставшись розробленою класифікацією розробник легко зможе визначити особливості спільноти, яку йому необхідно створити. Наприклад, якщо показник активності учасників спільноти відповідає значенням розвинутої спільноти, наступним кроком буде визначення її цільового призначення. Адже дозволить визначити правильний вид тематики, якої необхідно дотримуватися впродовж ведення віртуальної спільноти. Після визначення тематики з’явиться осмислення думки, як має виглядати віртуальна спільнота, якими мовами має подаватися інформація. Взаємодія основних суб’єктів у свою чергу дозволить правильно визначити потреби цільової аудиторії. Тому, для того, щоб віртуальна спільнота виконувала своє призначення: дозволяла обмінюватися думками, приносила нові знання, об’єднувала однодумців необхідно якісно налагодити усі механізми її роботи.

### Література

1. Малихін О. В. Професійний розвиток учителів закладів загальної середньої освіти: віртуальні педагогічні спільноти / О. В. Малихін, Н. О. Арістова // The 8 th International scientific and practical conference: Eurasian scientific congressl. – August 9-11, 2020. – Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2020. – 370 p.
2. Пелешишин, А. М. Аналіз існуючих типів віртуальних спільнот у мережі інтернет та побудова моделі віртуальної спільноти на основі веб-форуму / А. М. Пелешишин, Р. Б. Кравець, Ю.О. Сєров // Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2011. – № 699. – С. 212–221.
3. A Data Model of the Internet Social Environment Peleshchshyn, A., Mastykash, O. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 902, pp. 439-448.
4. Informational support of effective work of the community manager with web communities Markovets, O., Pazderska, R., Horpyniuk, O., Syerov, Y. CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2654, pp. 710-722.
5. Model of informational support for social network administrators' content creation Markovets, O., Vovk, N., Turchyn, Y., Smirnov, O. CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2616, pp. 125-136.
6. Molodetska, Kateryna, Yuriy Tymonin, and Ihor Melnychuk. "The conceptual model of information confrontation of virtual communities in social networking services." International Journal of Electrical and Computer Engineering 10.1 (2020): 1043.
7. Peleshchshyn, A., Bandrovsykyi, H. "Informational influence in social networks: Dynamics modeling based on the system of linear equations". IEEE 2019 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2019 - Proceedings, 2019, 1, pp. 165-168, 8929819.
8. Peleshchshyn, A., Mastykash, O. A "Data Model of the Internet Social Environment." Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 902, pp. 439–448.
9. Peleshchshyn, Andriy, et al. "Identifying specific roles of users of social networks and their influence methods." 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Vol. 2. IEEE, 2018.
10. Phenomenological model of information operation in social networking services Molodetska, K., Tymonin, Y., Markovets, O., Melnychyn, A. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science,

2020, 19(2), pp. 1078-1087.

11. Trach, O., Peleshchyshyn, A., Korzh, R. "Methods for creating a team for managing a virtual community CEUR Workshop Proceedings", 2020, 2565, pp. 83-92.

12. Trach, Olha, and Andriy Peleshchyshyn. "Development of directions tasks indicators of virtual community life cycle organization." 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Vol. 1. IEEE, 2017.

13. Virtual community // Enjeux de Mots. – 2005. – URL: <https://vecam.org/archives/article618.html>.

14. Virtual community. [Web site]. – URL: <https://www.britannica.com/topic/virtual-community>.

#### References

1. Informational support of effective work of the community manager with web communities Markovets, O., Pazderska, R., Horpyniuk, O., Syerov, Y. CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2654, pp. 710-722.

2. Malykhin O. V. Profesiyni rozvytok uchyteliv zakladiv zahalnoi serednoi osvity: virtualni pedahohichni spilnoty / O. V. Malykhin, N. O. Aristova // The 8 th International scientific and practical conference: Eurasian scientific congressl. – August 9-11, 2020. – Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2020. – 370 p.

3. Model of informational support for social network administrators' content creation Markovets, O., Vovk, N., Turchyn, Y., Smirnov, O. CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2616, pp. 125-136.

4. Molodetska, Kateryna, Yuriy Tymonin, and Ihor Melnychuk. "The conceptual model of information confrontation of virtual communities in social networking services." International Journal of Electrical and Computer Engineering 10.1 (2020): 1043.

5. Peleshchyshyn, A., Bandrovskiy, H. "Informational influence in social networks: Dynamics modeling based on the system of linear equations". IEEE 2019 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2019 - Proceedings, 2019, 1, pp. 165-168, 8929819.

6. Peleshchyshyn, A., Mastykash, O. A "Data Model of the Internet Social Environment." Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 902, pp. 439–448.

7. Peleshchyshyn, A. M. Analiz isnuichykh typiv virtualnykh spilnot u merezhi internet ta pobudova modeli virtualnoi spilnoty na osnovi veb-forumu / A. M. Peleshchyshyn, R. B. Kravets, Yu.O. Sierov // Informatsiini systemy ta merezhi: Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". – 2011. – № 699. – S. 212–221.

8. A Data Model of the Internet Social Environment Peleshchyshyn, A., Mastykash, O. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 902, pp. 439-448.

9. Peleshchyshyn, Andriy, et al. "Identifying specific roles of users of social networks and their influence methods." 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Vol. 2. IEEE, 2018.

10. Phenomenological model of information operation in social networking services Molodetska, K., Tymonin, Y., Markovets, O., Melnychyn, A. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2020, 19(2), pp. 1078-1087.

11. Trach, O., Peleshchyshyn, A., Korzh, R. "Methods for creating a team for managing a virtual community CEUR Workshop Proceedings", 2020, 2565, pp. 83-92.

12. Trach, Olha, and Andriy Peleshchyshyn. "Development of directions tasks indicators of virtual community life cycle organization." 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Vol. 1. IEEE, 2017.

13. Virtual community // Enjeux de Mots. – 2005. – URL: <https://vecam.org/archives/article618.html>.

14. Virtual community. [Web site]. – URL: <https://www.britannica.com/topic/virtual-community>.

Рецензія/Peer review : 18.02.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

## ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ФІНАНСОВИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ПОБУДОВІ СППР

*В роботі розглянуто формалізацію фінансових об'єктів при побудові СППР на базі апаратів штучного інтелекту. Визначено, що для реалізації процедур формування рішень виникає потреба у виборі оптимального математичного апарату з урахуванням специфіки вирішення конкретної фінансової задачі. Означено, що поява повноцінної статистики дозволить повернутися до використання ймовірностей при аналізі ризику та одночасно покращити якість нечіткої класифікації фінансових параметрів підприємства. Розглянуто формування множин вхідних/вихідних параметрів систем підтримки прийняття рішень щодо оцінювання фінансового стану підприємства. Складено відповідні матриці знань для оцінки кількісних та якісних характеристик фінансового стану підприємств.*

*Встановлено, що окрім традиційних статистичних методів для формалізації системи підтримки прийняття рішень у фінансовому аналізі застосовуються нейронні мережі. Математично нейронну мережу можна розглядати як клас методів статистичного моделювання, що у свою чергу можна розділити на три класи: оцінка щільності ймовірності, класифікація і регресія.*

*Обґрунтовано, що використання нечітких множин, нейронних мереж та генетичних алгоритмів при побудові систем підтримки прийняття рішень є перспективним напрямком розвитку систем підтримки та прийняття рішень.*

*Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, штучний інтелект, математична модель, нечіткі множини, нейронна мережа, генетичні алгоритми, фінансовий стан підприємства.*

O. RUZAKOVA, N. YURCHUK  
Vinnytsia National Agrarian University

## USING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVICES FOR FINANCIAL OBJECTS FORMALIZATION IN THE DSS CONSTRUCTION

*The work considers the financial objects formalization in the DSS construction based on artificial intelligence devices. It is determined that there is a need to choose the optimal mathematical apparatus, taking into account the specifics of solving a particular financial problem for the implementation of decision-making procedures. It is noted that the emergence of full-fledged statistics will return to the use of probabilities in risk analysis and at the same time improve the fuzzy classification quality of enterprise financial parameters. The formation of input / output parameters sets of decision support systems for assessing the enterprise financial condition is considered. Appropriate knowledge matrices have been compiled to assess the quantitative and qualitative characteristics of the enterprises financial condition.*

*It is established that in addition to traditional statistical methods neural networks are used in financial analysis to formalize the decision support system. Mathematically, a neural network can be considered as a class of statistical modeling methods, which in turn can be divided into three classes: probability density estimation, classification and regression.*

*It is proved that DSS can be fully implemented on a neural network. In contrast to the traditional use of such NN to solve only the problems of pattern recognition and formation, in DSS on the basis of NN coordinated tasks are solved: pattern recognition and formation; obtaining and storing knowledge (empirically found regular connections of images and influences on the object of control); evaluation of qualitative characteristics of images; decision-making.*

*It is substantiated that the use of fuzzy sets, neural networks and genetic algorithms in the construction of decision support systems is a promising direction in the DSS development.*

*Keywords: decision support systems, artificial intelligence, mathematical model, fuzzy sets, neural network, genetic algorithms, financial condition of the enterprise.*

### Постановка проблеми

На сьогодні сфера виробництва висуває високі вимоги до формалізації задач підтримки прийняття ефективних рішень. Ці проблеми виникають при аналізі фінансового стану підприємств, інвестиційному проектуванні, проведенні тендерів тощо. Отримане рішення повинно бути аргументованим, об'єктивним, оскільки помилки у висновках можуть призвести до збитку чи недоотримання прибутку. Враховуючи різноманіття фінансових процесів, множинність показників фінансової стійкості, можна стверджувати, що ця задача складна, та для її вирішення необхідне створення автоматизованої експертної системи або системи підтримки прийняття рішень з масштабним залученнями економіко-математичних методів та сучасних інформаційних технологій.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сьогодні існує велика кількість індикаторів оцінки фінансово-господарської діяльності для визначення та аналізу фінансового стану підприємства. Розроблено багато методик щодо оцінки фінансового стану підприємства. У практиці фінансового аналізу добре відомий ряд показників, що характеризує окремі сторони поточного фінансового стану підприємства. Сюди входять показники ліквідності, рентабельності, стійкості, оборотності капіталу, прибутковості тощо. За рядом показників відомі деякі нормативи, що характеризують їх значення позитивно чи негативно. Наприклад, коли власні кошти підприємства перевищують половину всіх пасивів, тобто коефіцієнт автономії більше за 0,5, то це його значення вважається „добрим” (відповідно, коли він менше за 0,5 – „поганим”). Але в більшості випадків

показники, що оцінюються при аналізі, однозначно нормувати неможливо. Це пов'язано зі специфікою галузей економіки, з поточними особливостями діючих підприємств, зі станом економічного середовища, в якому вони працюють.

Існують методики, що оцінюють підприємства за бальною системою, зокрема у роботі Захарової Н.Ю. [1]. Однак, говорити однозначно про оптимальність такої методики не можна, оскільки бальна система розроблена в значній мірі умовно, не є точною, а для аналізу використовується обмежена кількість показників.

Існує також багато моделей антикризового планування діяльності підприємства, серед них модель Ліса для оцінки фінансового стану, оцінка Альтмана ймовірності банкрутства підприємства, оцінка фінансового стану підприємства за показниками Бівера тощо [2]. Недоліком цих моделей є те, що вони не забезпечують всебічну оцінку фінансового стану підприємства, а тому можливі досить значні відхилення прогнозних даних від реальних. Також необхідно зауважити, що ці моделі не враховують специфіку вітчизняної економіки, тому що існує різниця у темпах інфляції та фазах циклу, інший податковий клімат, що потребує відповідного коригування.

**Метою дослідження** є отримання більш об'єктивної оцінки фінансово-економічного стану підприємства необхідно створити ефективну методику оцінювання фінансового стану суб'єктів господарювання.

Актуальним також є питання про автоматизацію процесів розрахунку та оцінки фінансового стану підприємства [3]. Для цього автори пропонують використовувати системи підтримки прийняття рішень (СППР), що дозволяють проводити більш точний та глибокий аналіз фінансового стану підприємства, прискорити процес прийняття рішень, зменшити його ризики.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Під СППР розуміють людиномашинні системи, які дозволяють особам, що приймають рішення, використовувати дані та знання об'єктивного та суб'єктивного характеру для вирішення слабоструктурованих проблем. Однією з таких є центральна проблема фінансового менеджменту – оцінювання ФСП.

СППР повністю здійснює пошук можливих варіантів рішень та співставляє їх варіанти. Тоді як виявлення цілей, проблем і формування критеріїв, а також вибір остаточного рішення залишаються за особою, що приймає рішення.

СППР дозволяє аналізувати та пропонувати варіанти прийняття рішення. Відповідальність за прийняття рішення несе особа, що приймає рішення, тому вона повинна передбачити усі його можливі наслідки. Якщо у неї виникають сумніви чи з'являються нові чинники, які можна ввести в систему та отримати уточнене рішення, то СППР повторно виконує необхідні розрахунки та пропонує новий варіант рішення.

Автоматизація ряду процедур формування рішень за допомогою СППР дозволила вирішувати на комп'ютері такі задачі:

1. Генерувати можливі варіанти рішень;
2. Аналізувати наслідки прийнятого рішення;
3. Забезпечити роботу системи з вхідними даними, що надходять з інших систем.
4. Відобразити множину вхідних даних на множину вихідних шляхом формалізації процесу прийняття рішень на базі відповідного математичного апарату.

Отже, для реалізації цих задач виникає потреба у виборі оптимального математичного апарату з урахуванням специфіки вирішення конкретної фінансової задачі. Поширеним та ефективним підходом для ідентифікації різних об'єктів при побудові СППР є застосування теорій нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів.

Використання СППР є дуже важливим при проведенні фінансового аналізу у зв'язку з необхідністю прийняття найбільш адекватного рішення, яке може вплинути на прибутковість проекту. Часто необхідно приймати рішення, маючи суперечливі дані з високий рівнем так званого "шуму". Це потрібно враховувати при створенні систем підтримки прийняття рішень фінансового аналізу. Одним з виходів у подібній складній ситуації є використання апарату нечіткої логіки.

Нечітка логіка є найважливішою особливістю людського мислення, вона характеризує здатність людини узагальнювати інформацію та виділяти головні її особливості, необхідні для прийняття відповідних управлінських рішень. Використання нечіткої логіки ефективно там, де немає можливості чітко формалізувати вхідні параметри, де переважають висновки експертів, зроблені у вербальній формі [4]. Засновані на цій теорії методи побудови комп'ютерних нечітких систем суттєво розширюють галузі застосування комп'ютерів. Останнім часом нечітке управління є однією з найбільш активних та результативних галузей дослідження застосування теорії нечітких множин. Нечітке управління виявляється особливо корисним, коли технологічні процеси занадто складні для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів, чи коли доступні джерела інформації інтерпретуються якісно, неточно чи невизначено. Експериментально доведено, що нечітке управління дає кращі результати порівняно з отриманими при загальноприйнятих алгоритмах управління.

Використання апарату нечітких множин для формалізації СППР позбавляє необхідності врахування усіх можливих комбінацій оцінювальних параметрів об'єкта. Це суттєво дозволяє спростити роботу

експертам, а тому зробити розробку такої СППР більш дешевою. Крім того, при ідентифікації об'єктів з багатьма оцінювальними параметрами, кількість яких складає декілька десятків, раціонально приймати рішення з урахуванням усіх комбінацій параметрів стає просто неможливим, бо потреба у переборі як мінімум  $n^k$  комбінацій ( $n=2$ ), де  $n$  – кількість термів, а  $k$  – кількість оцінювальних параметрів.

Таким чином, ми пропонуємо використовувати апарат нечітких множин для аналізу фінансового стану підприємства. На сьогодні ця галузь математики бурхливо розвивається, застосування нечітких множин в системах прийняття рішень вже має чималу економічну віддачу. Поява повноцінної статистики дозволить повернутися до використання ймовірностей при аналізі ризику та одночасно покращити якість нечіткої класифікації фінансових параметрів підприємства.

Розглянемо формування множин вхідних/вихідних параметрів СППР щодо оцінювання фінансового стану підприємства. Множина оцінювальних параметрів  $X$  повинна забезпечити формування таких складних параметрів: множина кількісних показників  $Z = f(Y_1 \dots Y_4)$  та якісних  $Y_5 = f(x_1 \dots x_4)$ .

Кількісні характеристики визначаються на основі ряду груп показників, зокрема: фінансова стійкість  $Y_1 = f(x_1 \dots x_4)$  ( $x_1$  – коефіцієнт незалежності,  $x_2$  – коефіцієнт залежності,  $x_3$  – коефіцієнт фінансового ризику,  $x_4$  – коефіцієнт маневрування); ліквідність та платоспроможність  $Y_2 = f(x_5 \dots x_9)$  ( $x_5$  – коефіцієнт грошової платоспроможності,  $x_6$  – коефіцієнт розрахункової платоспроможності,  $x_7$  – коефіцієнт ліквідної платоспроможності,  $x_8$  – коефіцієнт критичної ліквідності,  $x_9$  – частка чистого оборотного капіталу у оборотних активах); ділова активність  $Y_3 = f(x_{10} \dots x_{18})$  ( $x_{10}$  – коефіцієнт оборотності активів,  $x_{11}$  – коефіцієнт оборотності дебіторської заборгованості,  $x_{12}$  – коефіцієнт оборотності кредиторської заборгованості,  $x_{13}$  – коефіцієнт оборотності матеріальних запасів,  $x_{14}$  – коефіцієнт оборотності основних засобів,  $x_{15}$  – коефіцієнт оборотності власного капіталу,  $x_{16}$  – строк погашення дебіторської заборгованості,  $x_{17}$  – строк погашення кредиторської заборгованості,  $x_{18}$  – тривалість обороту запасів); рентабельність  $Y_4 = f(x_{19} \dots x_{22})$  ( $x_{19}$  – рентабельність витрат,  $x_{20}$  – рентабельність продаж,  $x_{21}$  – рентабельність всіх активів,  $x_{22}$  – рентабельність власного капіталу  $Y_4$ ).

В свою чергу ці оцінювальні кількісні параметри обчислюються на основі первинних вхідних параметрів, отриманих з фінансової звітності.

Узагальнений якісний показник являє собою функцію  $Y_5 = f(x_{23} \dots x_{25})$  ( $x_{23}$  – професійні здібності керівника підприємства,  $x_{24}$  – рівень мотивації,  $x_{25}$  – рекламна політика та досвід фірми).

В свою чергу, ці оцінювальні якісні параметри обчислюються за допомогою первинних вхідних параметрів, отриманих від експертів.

Таблиця 1

Значення параметрів а...в для кількісних параметрів  $x_1 \dots x_{22}$ 

x	a	b	c	d <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d
x <sub>1</sub>	0	1,0	0,3	0,6	0,4	0,7
x <sub>2</sub>	0	1,0	0,3	0,6	0,4	0,7
x <sub>3</sub>	0	4,0	0,7	2	1,0	2,5
x <sub>4</sub>	-2	2,0	0,2	0,5	0,3	0,7
x <sub>5</sub>	0	3,0	1,0	1,6	1,2	1,8
x <sub>6</sub>	0	3,0	1,2	1,8	1,4	2,0
x <sub>7</sub>	0	3,0	1,0	1,6	1,2	1,8
x <sub>8</sub>	0	1,0	0,2	0,6	0,3	0,7
x <sub>9</sub>	-3	1,0	0,2	0,5	0,3	0,6
x <sub>10</sub>	0	4,0	1,0	2,5	1,5	3
x <sub>11</sub>	0	12,0	3,0	7,0	4,0	8,0
x <sub>12</sub>	0	12,0	3,0	7,0	4,0	8,0
x <sub>13</sub>	0	10,0	2,0	6,0	3,0	7,0
x <sub>14</sub>	0	3,0	0,8	2,0	1,0	2,2
x <sub>15</sub>	0	2,0	0,5	1,2	0,7	1,5
x <sub>16</sub>	0	1,0	0,2	0,4	0,25	0,5
x <sub>17</sub>	0	1,0	0,2	0,4	0,25	0,5
x <sub>18</sub>	0	1,0	0,2	0,4	0,25	0,5
x <sub>19</sub>	-1	2,0	0,7	1,0	0,8	1,2
x <sub>20</sub>	-1	1,0	0,35	0,55	0,45	0,65
x <sub>21</sub>	-1	1,0	0,2	0,4	0,3	0,5
x <sub>22</sub>	-1	2,0	0,7	1,0	0,8	1,2

Визначимо множину вихідних параметрів  $O = \{O_1, \dots, O_s\}$ .

Розглянемо кожне з цих  $O_j, j=1, S (S=5)$  рішень:  $O_1$  – відмінний ФСП;  $O_2$  – нормальний ФСП;  $O_3$  – задовільний ФСП;  $O_4$  – критичний ФСП;  $O_5$  – незадовільний ФСП.

Для оцінювальних параметрів  $x_1, \dots, x_{25}$  будемо використовувати єдину шкалу лінгвістичних термів: Н – низький, С – середній, В – високий.

Побудуємо функції належності з ненормованими значеннями  $a, a_1, a_2, c, c_1, d, d_1, b$  для кожного параметру окремо (таблиця 1).

Для кожного лінгвістичного терму задамо функцію належності, виходячи з варіантів функцій, що наведені у праці [5]. Специфіка обраних кількісних параметрів полягає в тому, що при зміні цих параметрів в певному проміжку значення функції не змінюється, а за межами цього проміжку існує нелінійна залежність. Таким чином, отримаємо функції належності трьох нечітких термів для кількісних параметрів  $x_1, \dots, x_{22}$ , які зображено на рис. 1.

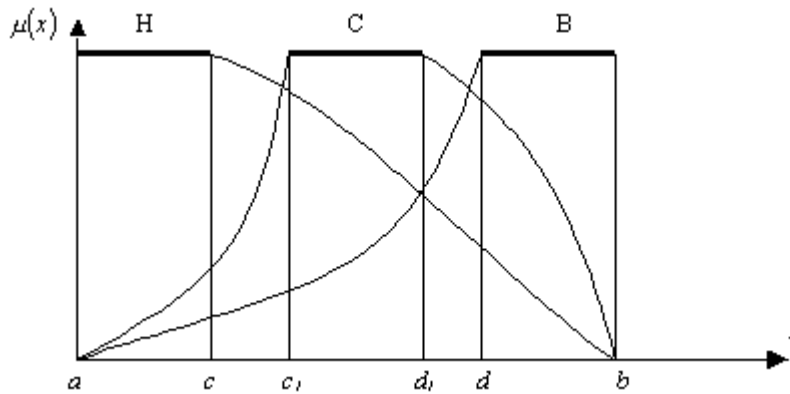


Рис. 1. Функції належності трьох нечітких термів для кількісних параметрів  $x_1 \dots x_{22}$

$$\mu^H(x) = \begin{cases} 1, & x \in [a, c), \\ \left(\frac{b-x}{b-c}\right)^{0,8}, & x \in [c, b], \end{cases} \quad \mu^C(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-a}{c_1-a}\right)^{1,2}, & x \in [a, c_1], \\ 1, & x \in (c_1, d_1), \\ \left(\frac{b-x}{b-d_1}\right)^{0,8}, & x \in [d_1, b], \end{cases} \quad \mu^B(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-a}{d-a}\right)^{1,2}, & x \in [a, d], \\ 1, & x \in (d, b]. \end{cases}$$

У цих функціях приймемо  $k=1,2, l=0,8$  які наближують їх до функціональних залежностей, обраних з реальних даних та експертних оцінок. Зокрема більшість показників зростають швидшими темпами ніж падають. Так, якщо при зростанні показника його належність до середнього рівня збільшується швидше, то при падінні – належність до високого рівня відбувається меншими темпами.

Функції належності для якісних параметрів зображено на рис. 2.

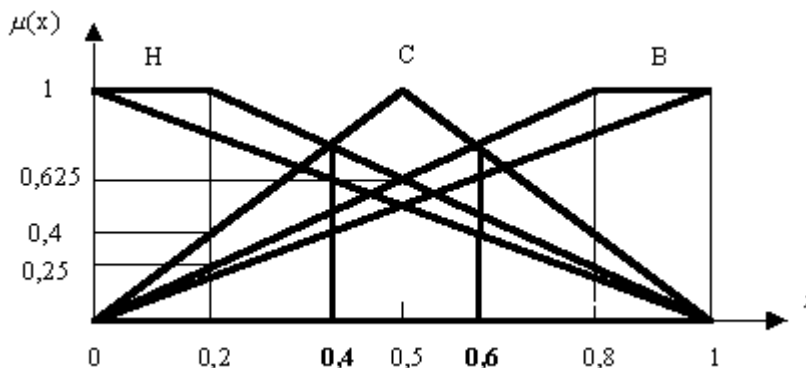


Рис. 2. Функції належності якісних параметрів при  $t=3$

Вся сукупність значень функцій належності для  $t=3$  зведена до таблиці 2.



Таблиця 2

Значення функцій належностей для  $t=3$ 

Терм	$\mu^h(x)$	$\mu^c(x)$	$\mu^b(x)$
Н	1	0,4	0,25
С	0,625	1	0,625
В	0,25	0,4	1

Використовуючи інформацію, що була надана банківськими експертами в галузі фінансового менеджменту, складемо відповідні матриці знань для оцінки кількісних та якісних характеристик фінансового стану підприємств, а також його остаточної оцінки (таблиці 3-5).

Таблиця 3

Матриця знань для кількісних показників  $x_1...x_{22}$ 

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$	$x_{21}$	$x_{22}$	Z	
Н	В	В	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	В	В	Н	Н	С	С	В	В	Н	Н	Н	Н	Н	
Н	В	С	В	Н	Н	Н	С	С	Н	С	С	Н	С	С	В	В	С	Н	Н	Н	Н		
Н	В	С	Н	Н	С	С	НН	НН	Н	Н	С	Н	Н	С	В	С	С	Н	Н	Н	С		
Н	В	В	В	С	Н	Н	С	С	Н	Н	Н	Н	Н	Н	С	В	В	С	Н	С	Н		
Н	В	С	В	С	С	Н	С	С	Н	С	С	Н	С	С	В	В	С	С	Н	Н	Н		
Н	В	В	Н	Н	С	Н	НН	НН	С	В	С	С	Н	С	В	С	С	Н	Н	Н	С		
С	С	С	В	С	Н	Н	С	Н	С	В	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	
С	Н	С	Н	С	С	В	Н	Н	С	Н	С	С	Н	С	С	С	Н	С	С	С	С		
С	С	Н	В	С	С	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С	Н	С	В	С	Н	С	В		
С	В	С	Н	С	С	С	В	В	С	Н	С	С	Н	С	С	С	Н	С	С	В	С		
В	С	Н	В	С	С	В	С	С	С	С	С	С	С	С	Н	С	Н	С	В	С	В		
С	Н	С	С	С	С	В	С	С	С	В	С	С	С	С	Н	С	Н	С	С	В	В	В	
В	Н	Н	С	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	Н	Н	Н	В	В	В	В		
В	Н	С	С	В	С	В	С	С	В	С	В	С	В	С	В	С	Н	С	В	С	В		
В	Н	С	С	С	С	В	С	С	В	С	В	С	В	С	В	С	Н	Н	В	В	В		
В	Н	Н	Н	В	С	В	С	С	В	В	В	В	В	В	Н	Н	С	В	С	В	В		
С	С	Н	Н	С	С	В	С	С	В	С	В	В	С	В	Н	Н	С	В	С	В	В		
С	С	Н	В	С	В	С	С	С	В	В	С	В	В	С	Н	С	Н	В	В	В	С		

Таблиця 4

Матриця знань для якісних показників  $x_{23}...x_{25}$ 

$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{25}$	$Y_5$
Н	Н	Н	Н
Н	С	Н	
С	Н	Н	
Н	Н	С	
Н	С	С	
С	Н	С	С
С	С	Н	
С	С	С	
С	В	С	
С	С	В	
В	С	С	В
С	В	В	
В	С	В	
В	В	С	
В	В	В	

Таблиця 5

## Матриця знань для оцінки ФСП

Z	$Y_5$	O
В	В	O <sub>1</sub>
С	В	O <sub>2</sub>
В	С	
С	С	O <sub>3</sub>
С	Н	O <sub>4</sub>
Н	С	
Н	Н	O <sub>5</sub>

Використовуючи методику, що наведена в [6], опишемо ці матриці знань логічними рівняннями, що пов'язують функції належності змінних  $Z$ ,  $Y_5$  та  $O_j$ .

Окрім традиційних статистичних методів для формалізації системи підтримки прийняття рішень у фінансовому аналізі застосовуються нейронні мережі (НМ).

Множина математичних моделей нейрона може бути створена на базі простої концепції побудови нейрона. Так звана сумуюча функція поєднує усі вхідні сигнали, які поступають від нейронів-відправників. Значенням такого об'єднання є зважена сума, де ваги являють собою синаптичні потужності. Збуджуючі синапси мають позитивну вагу, а гальмуючі синапси – негативну вагу. Задля виразу нижнього рівня активації нейрона до зваженої суми додається компенсація (зміщення).

Так звана функція активації розраховує вихідний сигнал нейрона за рівнем активності. Функція активації звичайно є сигмоїдною. Іншими можливими видами функцій активації є лінійна та радіально-симетрична функція.

Математично нейронну мережу можна розглядати як клас методів статистичного моделювання, що у свою чергу можна розділити на три класи: оцінка щільності ймовірності, класифікація і регресія.

СППР може бути цілком реалізована на нейронній мережі. У відмінності від традиційного використання таких НМ для вирішення тільки задач розпізнавання і формування образів, у СППР на базі НМ узгоджено вирішуються задачі: розпізнавання і формування образів; одержання і збереження знань (емпірично знайдених закономірних зв'язків образів і впливів на об'єкт керування); оцінки якісних характеристик образів; прийняття рішень.

Особливостями СППР на базі НМ є:

- надмірність нейронів у мережі, необхідна для адаптації системи управління до постійно змінюваних умов існування, що змінюються, об'єкта управління. Внаслідок цього для практичної реалізації системи управління необхідно створення великих НМ (для порівняння людський мозок містить ~1011 нейронів).

- НМ складається зі специфічних нейронів, що є більш близькими аналогами біологічного нейрона і пристосованими для вирішення задач підтримки прийняття рішення.

Передаточні функції всіх нейронів можуть змінюватись, а ваги є параметрами мережі і не можуть змінюватись. Нейронна мережа СППР обирає ті сигнали, які мають максимальний рівень. Далі ті емітенти, які мають максимальний рівень сигналу повинні розглядатись як дані для обробки генетичним алгоритмом системи.

Генетичні алгоритми – ще один цікавий метод побудови формалізованої СППР. Вони були розроблені на основі спостереження процесів, які постійно відбуваються в природі.

Основні труднощі застосування класичних методів оптимізації нелінійних функцій пов'язані з проблемами локального екстремуму чи „прокляття розмірності”. Спроби подолання вказаних проблем привели до створення теорії генетичних алгоритмів, які вирощують оптимальне рішення шляхом схрещування вихідних варіантів з наступною селекцією за деяким критерієм.

Існує дві основні переваги генетичних алгоритмів перед класичними методиками оптимізації [7]:

1. Генетичний алгоритм не має значних математичних вимог до видів цільових функцій та обмежень. Дослідник не повинен спрощувати модель об'єкта, втрачаючи її адекватність. При цьому можуть використовуватися найрізноманітніші цільові функції та види обмежень (лінійні та нелінійні), визначені на дискретних, неперервних та змішаних універсальних множинах.

2. При використанні класичних методик глобальний оптимум може бути знайдений тільки у випадку, коли проблема має властивість випуклості. У той час еволюційні операції генетичних алгоритмів дозволяють ефективно відшукати глобальний оптимум.

Генетичні алгоритми дозволяють вирішувати задачі прогнозування, класифікації, пошуку оптимальних варіантів розв'язків задач. Специфічність задач фінансового аналізу полягає у використанні великих масивів експертних даних, що і зумовлює доцільність застосування генетичних алгоритмів для ідентифікації економічних об'єктів при побудові СППР. Застосування генетичних алгоритмів приводить до суттєвого зменшення часу пошуку оптимального рішення. Можливим застосуванням генетичних алгоритмів є налагодження моделей, які вирішують задачі складання різних розкладів, прогнозування економічних процесів, проектування складних систем тощо.

### Висновки

Отже, при побудові систем підтримки прийняття рішень на базі нечітких множин, нейронних мереж та генетичних алгоритмів можна зробити висновок, що використання цих технологій є перспективним напрямком розвитку систем підтримки та прийняття рішень. Можливості використання подібних систем в економіці є необмеженими на такому етапі розвитку економіки та науки і техніки. Вже на сьогодні існують системи прийняття рішень на основі нейронних мереж, які застосовуються фінансовими менеджерами компаній для зменшення ризику при плануванні фінансової діяльності компаній. Проте, в Україні ці системи поки що не знайшли широкого застосування. Це пов'язано з недосконалістю фінансового ринку. Але це не означає, що такі системи не знайдуть гідного застосування на вітчизняному ринку.

**Література**

1. Захарова Н. Ю. Методичні підходи щодо оцінки фінансового стану підприємства / Н. Ю. Захарова // Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). - 2013. - № 2(3). - С. 128-133.
2. Погребняк А. Ю. Процедура вибору механізму антикризового управління на підприємствах машинобудування / А. Ю. Погребняк // Економічний вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". - 2016. - № 13. - С. 242-250.
3. Рузакова О.В. Система підтримки прийняття рішень у задачах фінансового аналізу / О.В. Рузакова // Агросвіт. – 2019. – № 5. – С.67–72.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М: Мир, 1976. – 167 с.
5. Азарова А. О. Математична модель фінансового ризику на базі нечіткої логіки / А. О. Азарова, С. В. Юхимчук // Управляющие системы и машины. –1998. – № 6. – С. 9–15.
6. Рузакова О. В. Нечітко-множинне моделювання фінансового стану підприємства / О. В. Рузакова // Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. - 2019. - № 4. - С. 69-76.
7. Ротштейн О.П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. – Вінниця: „Універсум-Вінниця”. – 1999. – 320 с.

**References**

1. Zakharova N. Yu. Metodychni pidkhody schodo otsinky finansovoho stanu pidpriemstva / N. Yu. Zakharova // Zbirnyk naukovykh prats' Tavrijs'koho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu (ekonomichni nauky). - 2013. - № 2(3). - S. 128-133.
2. Pohrebniak A. Yu. Protседura vyboru mekhanizmu antykrizovoho upravlinnia na pidpriemstvakh mashynobuduvannia / A. Yu. Pohrebniak // Ekonomichnyj visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivs'kyj politekhnichnyj instytut". - 2016. - № 13. - S. 242-250.
3. Ruzakova O.V. Systema pidtrymky pryjniattia rishen' u zadachakh finansovoho analizu / O.V. Ruzakova // Ahrosvit. – 2019. – № 5. – S.67–72.
4. Zade L. Ponjatie lingvisticheskoy peremenoj i ejo primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij / L. Zade. – М: Mir, 1976. – 167 s.
5. Azarova A. O. Matematychna model' finansovoho ryzyku na bazi nechitkoi lohiky / A. O. Azarova, S. V. Yukhymchuk // Upravliaiuschye systemy y mashyny. –1998. – № 6. – S. 9–15.
6. Ruzakova O. V. Nechitko-mnozhyhne modeliuvannia finansovoho stanu pidpriemstva / O. V. Ruzakova // Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktual'ni pytannia nauky i praktyky. - 2019. - № 4. - S. 69-76.
7. Rotshtejn O.P. Intelektual'ni tekhnolohii identyfikatsii: nechitki mnozhyny, henetychni alhorytmy, nejronni merezhi. – Vinnytsia: „Universum-Vinnytsia”. – 1999. – 320 s.

Рецензія/Peer review : 14.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАДАЧ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ЗАБОРГОВАНOSTI В КРЕДИТНІЙ СФЕРІ

*В даній роботі розглянуто використання методів машинного навчання, а саме штучні нейронні мережі, для передбачення заборгованості в кредитній сфері. Розглянуті різні підходи до розв'язання суміжних задач на основі методів машинного навчання. Виконано розробку моделі передбачення заборгованості, проведено детальний аналіз запропонованої моделі, яка за рахунок покрової зміни налаштування штучної нейронної мережі, дозволяє покращувати розпізнавання потенційної заборгованості. Проведено експериментальні дослідження, застосовані різні оптимізатори та функції активації для досліджуваної мережі.*

*Ключові слова: машинне навчання, штучні нейронні мережі, кредитування.*

V. RUSINOV

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## RESEARCH OF NEURAL NETWORKS APPLICATION FOR DEBT PREDICTION TASKS IN THE CREDIT SPHERE

*This article researches the usage of machine learning methods, more specifically neural networks, for forecasting debts in credit sphere. Different approaches are researched that deal with similar tasks based on machine learning methods. The model of debt forecast is developed, analysis of this model is conducted, which uses step-by-step changes to the neural network allows to better detect potential debts. Research has been conducted using deep learning as a subset of machine learning for tasks that deal with debts in credit sphere and accounting. Articles show that there is potential in using neural networks for such tasks and they outperform standard algorithms such as linear regression.*

*Machine learning algorithms allow for creation of models that can detect changes in the data over a given period of time and using obtained from training process patterns to make predictions for new data. Such method will allow financial organizations to develop better strategies to avert unnecessary risks or to find ways to account for such risks.*

*During the process of model development, iterative approach has been taken to make closer steps to more accurately train on the supplied data. This is achieved through using old and tested algorithms, modern and more widely used and new emergent approaches to have a comparison between these approaches and to single out the best one. Using such approach we can see the how different optimizers and activation functions influence the overall model by using metrics such as accuracy and recall.*

*Using such approach, the full table of different approaches using various optimization algorithms and activation functions is provided to demonstrate the best model and how varied approaches change the overall accuracy of the model. This model can be used for further training on new data to adapt to a new economic situation.*

*Keywords: machine learning, artificial neural networks, finance and credit sphere.*

### Постановка задачі

Управління кредитними ризиками – це процес, що передбачає здатність підприємства розпізнавати існування фінансових загроз, щоб утримати можливі негативні наслідки на мінімальному рівні. Для забезпечення певного необхідного рівня фінансової безпеки має сенс розглядати поняття фінансової безпеки підприємства через ризик, що характеризується, здатністю вчасно передбачувати можливі заборгованості, забезпеченістю достатнім обсягом та зваженим використанням ресурсів, що досягається шляхом розробки і реалізації ефективних і гнучких фінансових моделей, які можуть вказувати на правильність обраної стратегії у прийнятті фінансових рішень, вчасним реагуванням на ризики зовнішнього характеру, як неспроможність кредиторів сплатити вчасно борг та подальшим ефективним впровадженням таких систем і моделей [1].

На сьогоднішній день склались умови за яких використання інтелектуальних алгоритмів стрімко виросло в популярності. Це зумовлено тим, що обсяги збережених даних та обчислювальна потужність комп'ютерних систем значно виросли. Враховуючи ці тенденції в розвитку, багато прикладних задач, які раніше розв'язувались за допомогою статично запрограмованих алгоритмів, тепер вирішуються за допомогою інтелектуальних алгоритмів. Основною перевагою такого підходу є те, що такі алгоритми дозволяють, без втручання розробника, відшукати залежності в даних і за допомогою них дати необхідний розв'язок. Це дозволяє не тільки більш швидко розв'язувати задачі, але і розв'язувати їх більш якісно, оскільки деякі особливості задачі розробник може не помітити.

Існує низка різних інтелектуальних алгоритмів як лінійна регресія, генетичний алгоритм, k-means clustering та інші. Проте, існують дослідження, в яких зроблено висновок, що нейронні мережі можуть давати результати значно кращі ніж стандартні алгоритми [2]. Виходячи з цього припущення, також більш глибоко будуть досліджені різні підходи для оптимізації моделі, і на основі найкращого, будуть внесені різні зміни до нейронної мережі для пошуку найбільш ефективної сукупності оптимізатора, функції активації та гіперпараметрів.

Для розробки моделі, треба використати набір даних або датасет. Обраний датасет [3] містить інформацію щодо клієнтів, їх вік, стать, виплати банку, рівень освіти та інші дані. Як було зазначено раніше, завдяки вхідному потоку даних проходить процес навчання, де модель, виходячи з досвіду минулих ітерацій, робить припущення, яке буде оцінюватись, і за допомогою цієї оцінки, на наступній ітерації модель, можливо, буде краще працювати.

Інший аспект розробки моделі – це гіперпараметри, оптимізатори та функції активації. На сьогоднішній день існують доволі широкий набір різних засобів для розробки моделі нейронної мережі, серед яких багато новаторських рішень для отримання більш оптимальної моделі. Такими засобами можуть виступати: зміна гіперпараметрів, наприклад зменшення швидкості навчання, використання нових функцій активації та використання різних оптимізаторів [4, 5]. Такі емерджентні підходи, хоча мають непоганий потенціал «на папері», все одно не мають досить екстенсивного бекграунду на практиці, як наприклад функція активації swish, яка основана на дуже популярній завдяки швидкості навчання та високим результатам функції ReLU.

#### Аналіз досліджень та публікацій

На сьогоднішній день, банківські та інші фінансові операції все частіше розроблюються одразу під хмарні рішення, як, наприклад, безконтактні перекази грошей від однієї особи до іншої [6]. Окрім цього, за останні роки, розроблено велику кількість сервісів та додатків, які дозволяють простіше робити перекази, при цьому без потреби вказувати дані, відомі лише власнику карти або банківського рахунку. З приходом цих технологій, рівень шахрайства також помітно зріс, тому з'явилась необхідність в розробці рішень та підходів для вирішення цього питання.

Зокрема, існує низка запропонованих підходів для вирішення задачі за допомогою методів оцінки шахрайства, який виокремлюють від ряду інших скорингових методів [7]. Прикладом такого рішення є система кредитного фрод скорингу на основі методів лінійної регресії та лінійного програмування. В якості даних, які подаються на навчання було використано підхід за допомогою карток, які заповнюються надаючи значення, нормалізовані до інтервалу  $-1..1$ . Такий метод досягає точності 0.498 [8].

Нейронні мережі, за умови правильного налагодження, може досягати результатів кращих за стандартні методи машинного навчання, такі як логістична регресія [2]. Існують статті [9-11] які вказують на те що використання нейронних мереж може мати кращі результати ніж стандартні алгоритми навчання. В якості функції активації [3] використано функцію ReLU а також оптимізатор SGD (стохастичний градієнтний спуск). Для нормалізації був застосований дещо неklasичний підхід з використанням  $\tanh$ , який запобігає збільшенню ваг поза встановленим значенням. Також, використано на всіх шарах нормалізацію вибірки для пришвидшення процесу навчання та позбавлення необхідності ретельно підбирати параметри навчання. Декілька проведених тестів даної моделі на даних за різні місяці, показали рівень визначення шахраїв до 23.9%. Датасет використаний для цього дослідження використовує реальні приватні дані користувачів банку [3].

В статті [12] наводиться інформація, щодо аспектів даної задачі, які необхідно враховувати для створення працездатної та ефективної системи пошуку шахраїв, для цього потрібно врахувати використані дані. Один з таких прикладів – це зсув або дисбаланс даних. Як правило, в реальних сценаріях, кількість шахрайства в порівнянні з реальними грошовими переказами значно нижча. Інша проблема – розмірність гіперплощини відповідей. Ці дві проблеми створюють необхідність не тільки аналізу даних, але й розробки нейронної мережі, яка ефективно може ці дані оброблювати, бажано з найменшим можливим часом виконання. Виокремити необхідно проблему знаходження хибно позитивних результатів, які можуть нести більші збитки за хибно негативні результати.

#### Модель оцінки ефективності нейронних мереж в задачі передбачення заборгованості

Розробка нейронної мережі потребує більш ретельного дослідження, тому використано наступний процес розробки нейронної мережі:

- розробка топології нейронної мережі;
- тестування нейронної мережі;
- зміна параметрів навчання (налаштування гіперпараметрів, зміна функції активації на шарах, зміна оптимізатору);
- повторне тестування, повернення до минулого кроку.

На основі методів, які розглянуті в аналізі досліджень та публікацій, можна запропонувати способи організації процесу навчання та використати ці напрацювання в результуючій моделі. Датасет [3] містить інформацію про клієнтів банку. В ньому є наступні поля: ідентифікатор, стать, рівень освіти, сімейний стан, історія виплат та баланс за різні місяці, наданий кредит та результат - чи клієнт погасив кредит. Перше, що можна побачити в датасеті - це явно більша частина клієнтів сплачує за кредит вчасно. Отже, надалі треба враховувати інші метрики, наприклад точність (recall) та влучність (precision). Далі, набір даних складається зі значень, в різних межах. Як правило, для таких прикладів застосовується нормалізація, оскільки вона дає можливість створити більш точну модель. Також, деякі колонки з даними категорій (categorical data) вже були переформатовані на числа. Деякі дані пов'язані з освітою та сімейним положенням були об'єднані.

При дослідженні даних, не було помічено жодних рядків з пропущеними даними, а отже датасет буде використаний повністю.

В якості функції активації використано функцію ReLU а також оптимізатор SGD (стохастичний градієнтний спуск). Функція ReLU (rectified linear unit) одна з найбільш популярних і широко використовуваних функцій, яка застосовується в багатьох моделях нейронних мереж. Дана функція демонструє значно кращі результати в порівнянні з сигмоїдою та гіперболічним тангенсом під час тренування нейронних мереж, оскільки завдяки своїй природі, ця функція уникає проблеми занепадаючих

градієнтів. Іншою значною перевагою ReLU є більш швидке виконання, адже її похідною є константа. ReLU описується за допомогою наступної формули:

$$f(x) = \max(0, x)$$

Стохастичний градієнтний спуск – модифікація алгоритму градієнтного спуску, яка націлена на покращення недоліків алгоритму градієнтного спуску. Основним таким недоліком є використання великої кількості пам'яті. Алгоритм градієнтного спуску, при навчанні використовує всі точки датасету на кожній ітерації, для того щоб обчислити похідну функції втрат. Стохастична версія цього алгоритму бере тільки одну точку. Оновлення параметрів проходить за формулою:

$$\Theta = \Theta - \alpha \nabla Q_i(\Theta)$$

де  $t$  – час або номер ітерації,  $Q_i$  – функція втрат, та  $\alpha$  – темп конвергенції.

Переваги такого підходу: значно менші потреби в часі та обсягах пам'яті, оскільки оновлення параметрів проходить за однією точкою. На основі алгоритму стохастичного градієнтного спуску було розроблено низку моделей з модифікованим оптимізатором.

### Топологія нейронної мережі

Топологія нейронної мережі містить 23 вхідних нейрони, 32 скриті нейрони та один нейрон на виході. Функція активації ReLU є найбільш використаною функцією, отже обираємо її для усіх нейронів, окрім останнього, який залишиться з сигмоїдною функцією. Для даної топології використано оптимізатор adam зі швидкістю навчання 0.1. Навчання з вищеописаними параметрами показує результати в межах від 0.75-0.8, в залежності від випадково обраного зерна, проте кількість хибних негативних результатів набагато більша за правильних негативних (точність навчання показана на рис. 1).

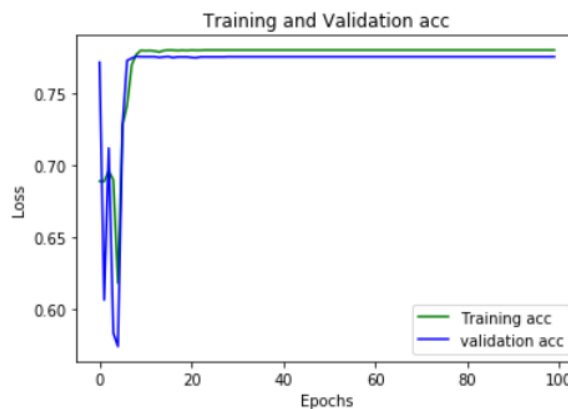


Рис. 1. Навчання на описаній нейронній мережі

Як видно з рисунку 1, точність становить понад 0.75, проте, під час дослідження було встановлено, що датасет який використовується для даної моделі незбалансований, тобто кількість записів з відміткою одного класу значно перевищує кількість записів з відміткою іншого класу. Для того щоб незбалансований набір даних не впливав на навчання, треба застосувати одну із наступних двох тактик: збільшити кількість даних з поміткою 1 або зменшити кількість даних з поміткою 0. Оскільки на основі даної системи, далі буде проводитись розробка реальної системи, то потрібна така модель, яка враховує якомога більше різних даних, тому використаємо стратегію oversampling – штучне збільшення кількості даних з поміткою «1». Додатково підвищимо гіперпараметр розміру підвибірки (batch size), що дозволить отримати два ефекти:

1. швидкість навчання зростає за рахунок використання більшої кількості рядків за одну ітерацію;
2. деякі дані можуть повторюватись, що негативно впливає на процес навчання, тому за рахунок використання більш широкій підвибірці цей ефект зменшується.

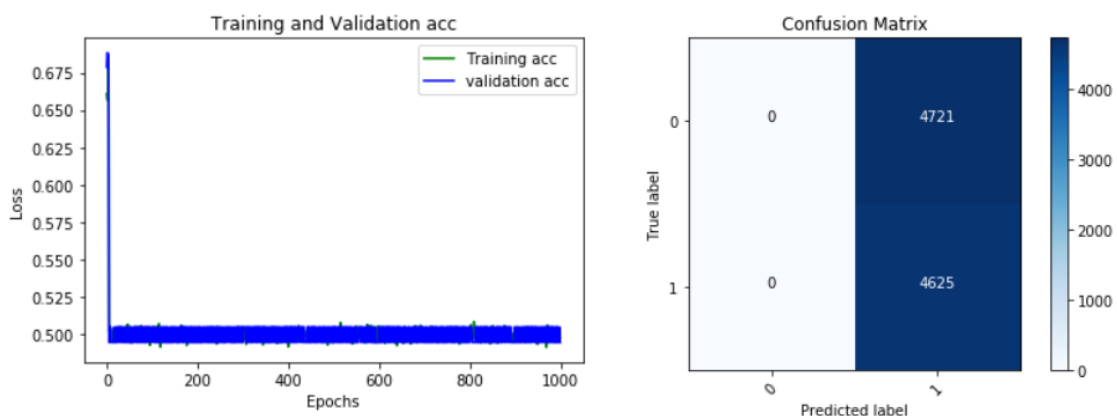


Рис. 2. Навчання з oversampling

Після того, як були введені додаткові налаштування до нейронної мережі, мережа продовжує відносити усі екземпляри тестового датасету до одного класу, в залежності від стартового набору ваг і зсувів. Такий ефект може виникати через те, що, якщо представити значення в вигляді гіперплощини, пошук мінімуму «перестрибує» по локальним екстремумам, не попадаючи в глобальний мінімум. Для наступної ітерації, швидкість навчання знизимо до 0.01. Щоб це не призвело до оверфіту, також треба ввести L2 регуляризацию, оскільки нижча швидкість навчання може призвести до ефекту перенавчання. Ефект оверфіту виникає при низькому параметру bias і високому розбросі, наглядно це можна побачити коли точність на тестовому датасеті значно нижча аніж на датасеті, який використовується при навчанні. L2 регуляризація, фактично розраховує ваги таким чином, що менш застосовані ваги будуть мати значення ближче до 0 і не створювати «шум», та використовує наступну формулу:

$$\min_w \sum_{i=1}^b V(x_i + w_i y_i) + \lambda w_2^2$$

де  $w$  – вага,  $x$  – вхідний сигнал,  $y$  – вихідний сигнал, параметр лямбда - множник Лагранжа, який впливає на вихідну вагу. За замовчуванням, значення лямбда становить 0.01.

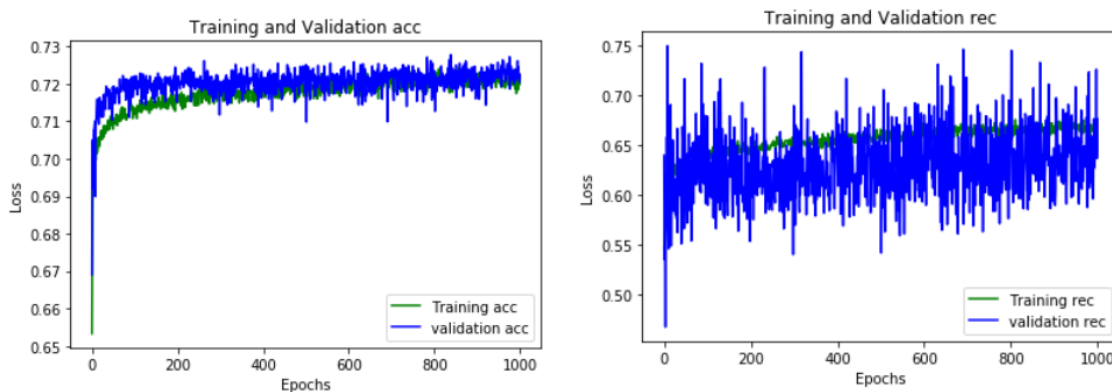


Рис. 3. Навчання із пониженою швидкістю навчання

Отримуємо точність 0.713. Далі додамо регуляризацию до вагів в нейронній мережі, що дозволить завадити можливому ефекту overfit, та як можливий варіант вирішення проблеми «скачки» (рис.3). Таким чином, в приховані шари додано регуляризацию L2 та Dropout з вірогідністю відключення нейронів на кожному шарі 30%. Ідея Dropout полягає в тому, що в наступному шарі випадково обирається нейрон, який не задіється в навчанні. Dropout також є одним із засобів регуляризації і створює ефект того, що при розрахунку ваги в нейроні, задіяно більше зв'язків з нейронами попереднього шару, тим самим диверсифікуючи джерела для формування вихідного сигналу. Таким чином, можна очікувати, що випадкові сигнали будуть усунені завдяки комбінації цих двох підходів.

Попередні дві оптимізації були направлені на зрівняння кривої точності. Отримана модель має більш чіткий баланс між класами до яких вона відносить дані та отримала точність 0.719. Далі залишається знайти найбільш оптимальну комбінацію функції активації та оптимізатору. Найбільш цікавими оптимізаторами для даного завдання є: Adam, Nadam та Momentum [5,13].

Гіперплощина «відповідей» досить бурхлива, тому одним з цікавих способів знайти найбільш оптимальну точку це використати імпульс. Adam – один з найбільш популярних алгоритмів оптимізації, побудований на SGD (Stochastic Gradient Descent) і використовує адаптивну оцінку імпульсів першої та другої степенів. В свою чергу, Nadam - це надбудова на Adam, яка використовує момент Нестерова [13]. Momentum надає контроль над імпульсом та може використовувати момент Нестерова. Момент Нестерова, фактично, додає до швидкості навчання параметр на основі компоненту моменту, який вказується окремо від швидкості навчання, та помножує на швидкість, яка ітеративно змінюється згідно формули:

$$v_{t+1} = \mu v_t - \eta \nabla l(\nabla + \mu v_t)$$

де  $v$  – швидкість,  $\mu$  – момент,  $\eta$  – швидкість навчання,  $\nabla$  - градієнт,  $l()$  – функція навчання,  $\theta$  – ваги та статистичні похибки (bias).

Для пошуку найбільш оптимальної моделі, можна зробити модифікації параметрів нейронної мережі, та змінити функції активації. Хоча ReLU вважається де-факто стандартом, можна також проекспериментувати на інших функціях активації. Розглянемо swish та sigmoid. Sigmoid - це один з перших стандартів в навчанні, він має криву, яка симулює ймовірність, тобто повертає значення від 0 до 1. Функція активації сігмоїди описується формулою:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

На основі функції активації сігмоїди, розроблено swish. Функція активації swish описується формулою:

$$f(x) = \frac{x}{1 + e^{-\beta x}}$$

Де  $\beta$  – константа. Існують докази [14], що функція активації swish вирішує проблему зникання градієнту, яка може виникнути при тренуванні мереж, коли значення градієнту наближається до 0. Swish має досить нестандартну форму, наближену до ReLU. Наприклад для значення  $\beta = 1$ , якщо на вході  $x = -1$ , то на виході буде значення близьке до -0.3, тобто swish трохи заохочує негативні значення  $x$ .

### Результати експериментів

Отже, враховуючи вищесказані кроки, проведемо декілька експериментів для встановлення найбільш оптимальної моделі нейронної мережі.

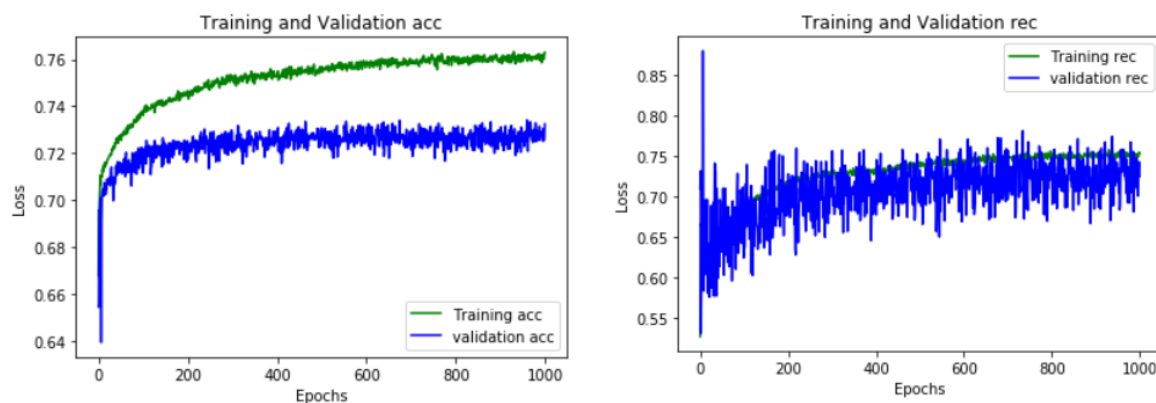


Рис. 4. Навчання з урахуванням минулих оптимізацій

Як видно з рис. 4 досліджуваний датасет [3] містить багато «шумів», що пояснюється природою його походження, а саме, в датасеті використані дані з реального банку.

Таблиця 1

### Точності навчання для різних функцій активації та оптимізаторів

	Adam	Nadam	Momentum
Relu	0.712	0.71	0.709
Swish	0.723	0.709	0.678
Sigmoid	0.715	0.711	0.498

Як видно з таблиці, найкраща модель використовує оптимізатор adam з функціями активації swish. Варто зазначити, що модель, яка використовує функції активації sigmoid та оптимізатор momentum, визначала приналежність дані до одного класу. Під час досліджень, зміна швидкості навчання через модифікацію розміру підвибірки не впливала на точність класифікації. Також, судячи з графіків (рис. 4), можна зробити висновок, що комбінація алгоритму оптимізації adam і функції активації swish дає найкращі результати серед усіх розглянутих моделей.

### Висновки

В роботі було досліджено декілька різних підходів та гіпотез щодо розробки нейронної мережі для виконання практичної задачі прогнозування ризиків неповернення заборгованості.

Використаний датасет містить дані в яких одна частина, яка позначена відповідним класом, значно більше ніж інша. Це пов'язано з тим, що дані отримані з реальних джерел, а повний об'єм даних про реальних користувачів містить персональні дані, тому було використано механізми аугментації на основі стратегії оверсемплінг для балансування класів.

Згідно з отриманими результатами, можна зробити наступні висновки: застосування алгоритму з моментом Нестерова не принесло бажаних результатів. Функція активації swish більше підходить для даної задачі, це, можливо пов'язано з тим, що датасет містить негативні значення, які несуть інформаційну цінність та впливають на процес навчання.

В подальшому буде доцільним протестувати згорткові мережі для визначення їх ефективності в задачі прогнозування кредитних ризиків. Також датасет містить схожі за змістом колонки, які можуть бути агреговані з використанням стратегії андерсемплінг.

### Література

1. Н.О. Partyn, О.В. Didukh. Features of the influence of the main factors on the financial stability of the company in terms of financial and economic crisis // Naukovyi visnyk natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy – 2010. - №10 - С.275-279
2. Dreiseitl, S., & Ohno-Machado, L. (2002). Logistic regression and artificial neural network classification



models: a methodology review. *Journal of biomedical informatics*, 35(5-6), 352-359.

3. Santander Customer Transaction Prediction | Kaggle [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kaggle.com/c/santander-customer-transaction-prediction/data>

4. Bottou, L. (2012). Stochastic gradient descent tricks. In *Neural networks: Tricks of the trade* (pp. 421-436). Springer, Berlin, Heidelberg.

5. Bae, K., Ryu, H., & Shin, H. (2019). Does Adam optimizer keep close to the optimal point?. *arXiv preprint arXiv:1911.00289*.

6. Rieger, P., Gewalt, H., & Schumacher, B. (2013). Cloud-computing in banking influential factors, benefits and risks from a decision maker's perspective.

7. Patidar, R., & Sharma, L. (2011). Credit card fraud detection using neural network. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 1(32-38).

8. Gómez, J. A., Arévalo, J., Paredes, R., & Nin, J. (2018). End-to-end neural network architecture for fraud scoring in card payments. *Pattern Recognition Letters*, 105, 175-181.

9. Bouzida, Y., & Cuppens, F. (2006, September). Neural networks vs. decision trees for intrusion detection. In *IEEE/IST workshop on monitoring, attack detection and mitigation (MonAM)* (Vol. 28, p. 29).

10. Abyaneh, H. Z. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1-8.

11. Samanta, B., Al-Balushi, K. R., & Al-Araimi, S. A. (2006). Artificial neural networks and genetic algorithm for bearing fault detection. *Soft Computing*, 10(3), 264-271.

12. Wang, C., Wang, Y., Ye, Z., Yan, L., Cai, W., & Pan, S. (2018, August). Credit card fraud detection based on whale algorithm optimized BP neural network. In *2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 1-4). IEEE.

13. Timothy Dozat. Incorporating Nesterov Momentum into Adam. *ICLR Workshop*, (1):2013–2016, 2016.

14. Eger, S., Youssef, P., & Gurevych, I. (2019). Is it time to swish? Comparing deep learning activation functions across NLP tasks. *arXiv preprint arXiv:1901.02671*.

#### References

1. H.O. Partyn, O.V. Didukh. Features of the influence of the main factors on the financial stability of the company in terms of financial and economic crisis // *Naukovyi visnyk natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy* – 2010. - №10 - C.275-279

2. Dreiseitl, S., & Ohno-Machado, L. (2002). Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review. *Journal of biomedical informatics*, 35(5-6), 352-359.

3. Santander Customer Transaction Prediction | Kaggle [Electronic resource] - Access to the resource: <https://www.kaggle.com/c/santander-customer-transaction-prediction/data>

4. Bottou, L. (2012). Stochastic gradient descent tricks. In *Neural networks: Tricks of the trade* (pp. 421-436). Springer, Berlin, Heidelberg.

5. Bae, K., Ryu, H., & Shin, H. (2019). Does Adam optimizer keep close to the optimal point?. *arXiv preprint arXiv:1911.00289*.

6. Rieger, P., Gewalt, H., & Schumacher, B. (2013). Cloud-computing in banking influential factors, benefits and risks from a decision maker's perspective.

7. Patidar, R., & Sharma, L. (2011). Credit card fraud detection using neural network. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 1(32-38).

8. Gómez, J. A., Arévalo, J., Paredes, R., & Nin, J. (2018). End-to-end neural network architecture for fraud scoring in card payments. *Pattern Recognition Letters*, 105, 175-181.

9. Bouzida, Y., & Cuppens, F. (2006, September). Neural networks vs. decision trees for intrusion detection. In *IEEE/IST workshop on monitoring, attack detection and mitigation (MonAM)* (Vol. 28, p. 29).

10. Abyaneh, H. Z. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1-8.

11. Samanta, B., Al-Balushi, K. R., & Al-Araimi, S. A. (2006). Artificial neural networks and genetic algorithm for bearing fault detection. *Soft Computing*, 10(3), 264-271.

12. Wang, C., Wang, Y., Ye, Z., Yan, L., Cai, W., & Pan, S. (2018, August). Credit card fraud detection based on whale algorithm optimized BP neural network. In *2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 1-4). IEEE.

13. Timothy Dozat. Incorporating Nesterov Momentum into Adam. *ICLR Workshop*, (1):2013–2016, 2016.

14. Eger, S., Youssef, P., & Gurevych, I. (2019). Is it time to swish? Comparing deep learning activation functions across NLP tasks. *arXiv preprint arXiv:1901.02671*.

Рецензія/Peer review : 08.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

## АНАЛІЗ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ НЕЩАСНИХ ВИПАДКІВ ТА АНАЛІЗУ ТРАВМАТИЗМУ

*В роботі розглядаються особливості програмного забезпечення, яке містить функціональну можливість реєстрації нещасних випадків, аналізу виробничого травматизму та автоматизованого процесу відповідного документообігу. Проаналізовано властивості трьох основних програмних продуктів, доступних для придбання підприємствами різних галузей промисловості, а саме: Електронне робоче місце інженера з охорони праці, Автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці та 1С: Виробнича безпека. Охорона праці. Виокремлено переваги та недоліки кожного із зазначених програмних продуктів. Підбір оптимального програмного забезпечення з метою реєстрації нещасних випадків, аналізу травматизму та автоматизованого ведення відповідного документообігу проводився по наступним параметрам: вартість програмного продукту, наявність та вартість технічної підтримки та додаткові можливості кожного з програмних комплексів (за їх наявності).*

*В результаті аналізу виявлено відсутність спеціалізованого програмного забезпечення з охорони праці українського виробництва із функціональними можливостями по роботі з нещасними випадками, що є вагомим недоліком. Проведений аналіз дозволяє вибрати оптимальний з існуючих програмних продуктів, який частково спрощує процес реєстрації нещасних випадків та аналізу травматизму. Результати роботи можуть застосовуватись для вибору оптимального програмного забезпечення не тільки для реєстрації нещасних випадків та аналізу виробничого травматизму на підприємстві та у відповідних відомствах, а й при роботі Державного управління з питань охорони праці та Фонду державного соціального страхування.*

*Ключові слова: охорона праці, реєстрація нещасних випадків, аналіз виробничого травматизму, автоматизований документообіг, програмне забезпечення, автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці, 1С: Виробнича безпека. Охорона праці, електронне робоче місце інженера з охорони праці, програма Організатор.*

SOKOLAN IULIIA, ROMANISHINA OLGA

Khmelnitskyi National University

## ANALYSIS OF SPECIALIZED OCCUPATIONAL SAFETY SOFTWARE FOR REGISTRATION OF INDUSTRIAL ACCIDENTS AND ACCIDENT RATE ANALYSIS

*Special aspects of software, containing functionality industrial accidents registration, industrial accident rate analysis and automated process of document flow are envisaged in the article. Properties of three main software packages, specifically Electronic working station of occupational safety engineer, Automated working station of occupational safety engineer and 1C: Occupational safety: Safety and Health protection, accessible for purchase by enterprises of different lines of business are analyzed. Advantages and disadvantages of each mentioned above software programs are emphasized. Selection of optimal software with the purpose of training and knowledge assessment regarding professional safety was realized by following parameters: cost of the software, existence and price of technical support and additional properties of each software package (in case of their existence).*

*The analysis results show that there is no developed Ukrainian specialized software for occupational safety with functionality of industrial accidents registration, industrial accident rate analysis and automated process of document flow and it is a significant problem. Conducted analysis allows the selection of optimal software, which partially simplify the process of industrial accidents registration and industrial accident rate analysis. Results of this research paper can be applied for selection of optimal software not only for industrial accidents registration and industrial accident rate analysis, but can be also applied by State administration regarding occupational safety and State-sponsored social insurance fund.*

*Keywords: professional safety, industrial accidents registration, industrial accidents rate analysis, automated document flow, software, automated working station of occupational safety engineer, 1C: Occupational safety, Electronic workstation of occupational safety engineer.*

### Постановка проблеми

Нестійка робота промислових підприємств в Україні призводить до тенденції погіршення умов праці. Незадовільні умови праці підвищують ймовірність подій, інцидентів і нещасних випадків, що призводять до збільшення рівня травматизму на підприємстві. Сутність управління охороною праці на підприємстві полягає у виробленні системи заходів (проекту), реалізація якого призведе до покращення умов праці на підприємстві.

Правове врегулювання питання порядку розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві регламентується НПАОП 0.00-6.02-04. Порядок визначає процедуру проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій, що сталися на підприємствах, в установах та організаціях незалежно від форми власності, виду економічної діяльності або в їх філіях, представництвах, інших відокремлених підрозділах чи у фізичних осіб - підприємців, які відповідно до законодавства використовують найману працю, а також тих, що сталися з особами, які забезпечують себе роботою самостійно, за умови добровільної сплати ними внесків на державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання [1].

Розвиток інформаційних технологій у XXI столітті привів до стрімкої комп'ютеризації суспільства як у побутовій, так і виробничій сферах. Застосування комп'ютерних інформаційних технологій і відповідного програмного забезпечення призводить до пришвидшення процесу роботи підприємства, спрощує процес розрахунків, зменшує можливість виникнення помилок шляхом мінімізації впливу людського фактору. Спеціальне програмне забезпечення розробляється для виконання конкретних завдань в окремих галузях виробництва. Стрімке використання інформаційних технологій призвело і до розвитку спеціального програмного забезпечення, яке може використовуватись для вирішення питань пов'язаних із охороною праці на підприємствах, наприклад, реєстрації проходження інструктажів, реєстрації нещасних випадків, проходження персоналом медоглядів, облік видачі засобів індивідуального захисту, облік та розрахунок витрат на охорону праці, тощо.

У роботі [2] наведено статистичні дані державної служби статистики України по рівню комп'ютеризації підприємств. В цілому спостерігається тенденція до зростання використання інформаційно-комунікаційного забезпечення на підприємствах незалежно від галузі їх основної діяльності. Тому, актуальною є задача аналізу та вибору оптимального спеціалізованого програмного забезпечення з охорони праці, яке містить в собі функціональні можливості по реєстрації нещасних випадків, аварій та професійних захворювань на виробництві, аналізу травматизму та із можливістю ведення автоматизованого документообігу, регламентованого Законодавством України.

### Виклад основного матеріалу

На ринку програмних продуктів, які призначені або містять у собі функцію реєстрації нещасних випадків, аналізу травматизму та автоматизованого ведення відповідного документообігу існує три основні програмні комплекси. Кожен з них відрізняється функціональними можливостями, властивостями, основним напрямком, вартістю програмного продукту та іншими характеристиками. Для вибору оптимального програмного продукту необхідно провести аналіз функціональних можливостей кожного окремого програмного комплексу.

#### 1. Електронне робоче місце інженера з охорони праці.

Програма «Електронне робоче місце інженера з охорони праці» (ЕРМ) призначена для автоматизованого рішення повсякденних задач інженера з охорони праці та дозволяє автоматизувати різні аспекти його діяльності. Основні функціональні можливості програми наведені в роботі [2], крім того в ній реалізований нещасний випадків та професійних захворювань на виробництві.

Програмний продукт складається з модулів, при чому кожен з них відповідає за конкретну галузь діяльності інженера з охорони праці. Модулі ЕРМ зображені на рис. 1.

Розглянемо більш детально модуль «Нещасні випадки та профзахворювання». Даний модуль дозволяє фіксувати нещасні випадки, інциденти, випадки професійних захворювань на підприємстві, а також вести журнал заходів щодо попередження нещасних випадків. Вся робота з модулем виконується шляхом ведення журналів.

На рис. 2 зображено зовнішній вигляд журналу реєстрації нещасних випадків. Інформація про постраждалого в нещасному випадку може бути як зазначена вручну шляхом заповнення відповідних полів, так і автоматично, якщо нещасний випадок стався із співробітником. Для автоматичного заповнення слід обрати необхідного працівника із списку працівників, після чого всі необхідні поля будуть заповнені автоматично.

При виборі співробітника дані про нього заносяться в журнал станом на момент вибору із списку працівників. Це значить, що якщо потім будуть змінені дані працівника в довіднику працівників, то в журналі залишиться стара інформація, тобто відсутнє автоматичне оновлення даних. Більш того, користувач може взагалі видалити працівника із картотеки, але дані у журналі реєстрації нещасних випадків про цього працівника як про постраждалу особу, залишаться [3].



Рис. 1. Схема модулів ЕРМ

Дата	ФИО пострадавшего	Должность пострадавшего	Д.р. пострадавшего	Вид происшествия
08.07.2011	Журавлева Александра Георгиевна	IT-директор	17.04.1982	Падение с лестницы
11.07.2011	Горин Роман Александрович	Программист	13.05.2011	ДТП
11.07.2011	Лазарева Юлия Сергеевна	Начальник отдела рекламы	13.05.2011	Нервный срыв

Рис. 2. Журнал реєстрації нещасних випадків

Окремо існує журнал для ведення випадків професійних захворювань. Аналогічно до журналу реєстрації нещасних випадків, інформація стосовно особу, що отримала професійне захворювання, може бути внесена вручну, шляхом заповнення всіх полів, або автоматично. У випадку автоматичного заповнення

також автоматично вказуються:

- роботодавець – зазначається перший підрозділ в ієрархії підприємства;
- галузь виробництва – зазначається галузь виробництва підрозділу працівника;
- назва об'єкту – вказується назва підрозділу працівника.

Аналогічно до журналу реєстрації нещасних випадків, дані про працівника заносяться саме на момент реєстрації професійного захворювання і відсутня автоматична зміна даних у випадку подальшої зміни даних про працівника у картотеці працівників підприємства.

Крім реєстрації нещасних випадків та професійних захворювань, у програмному комплексі ЕРМ також реалізована можливість ведення журналу обліку інцидентів. В цьому журналі ведеться облік інцидентів, при чому реалізована можливість для кожного інциденту вводити список заходів по його усуненню, а також слідкувати за ходом їх виконання.

Даний журнал дозволяє вести реєстрацію інцидентів, які напряму не пов'язані із здоров'ям працівників або нещасними випадками, а, наприклад, інциденти пов'язані із проривом труб, перебоями в електрозабезпеченні, тощо. Тобто, існує можливість моніторингу будь-яких випадків, які мають певні наслідки для виробництва. У даному журналі при додаванні інциденту та його параметрів можна зареєструвати:

- 1) інформація по самому інциденту, а саме:
  - місце настання інциденту, назва об'єкту, реєстраційний номер та дата його реєстрації;
  - дата та час інциденту;
  - вид інциденту;
  - причини інциденту;
- 2) наслідки інциденту:
  - тривалість простою, в годинах;
  - недовідпуск енергії, кВт/год;
  - економічні збитки;
- 3) висновки:
  - заходи, запропоновані комісією по розслідуванню причин інциденту;
  - заходи по усуненню причин інциденту;
  - примітки;
  - відмітка, що всі заходи виконані.

При створенні або редагуванні інциденту користувач може заповнити список заходів по усуненню причин інциденту (рис. 3). У відповідному вікні зазначається дата створення заходу, назва, обирається відповідальна особа, зазначається її посада, вказується планова та фактична дата завершення, а також примітки (у разі необхідності). При чому для кожного інциденту можна створити будь-яку кількість заходів. Захід враховується виконаним, якщо заповнене поле із фактичною датою завершення

У журналі планування заходів по попередженню нещасних випадків зібрана інформація про заходи, направлені на попередження нещасних випадків (рис. 4). Сюди потрапляють як заходи, створені через форму редагуванні інциденту, так і заходи, створені без прив'язки до конкретних інцидентів.

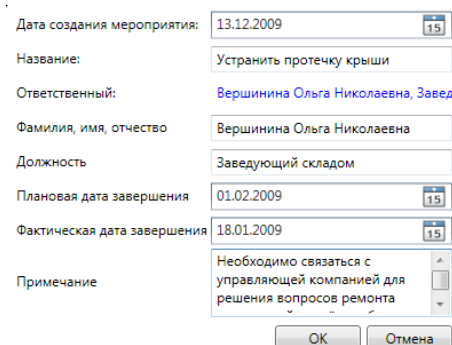


Рис. 3. Введення даних стосовно заходів по усуненню причин інциденту

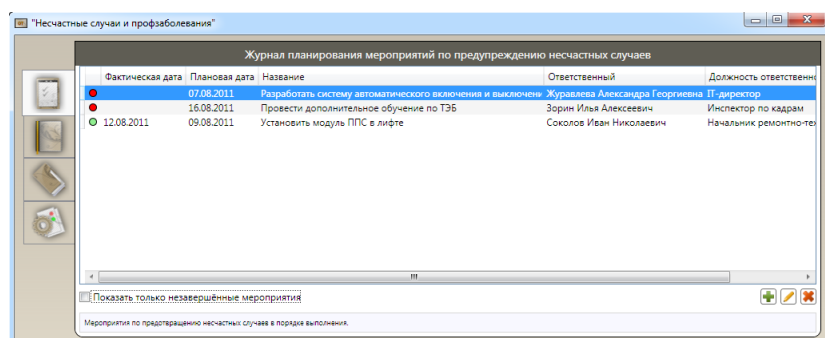


Рис. 4. Журнал планування заходів по попередженню нещасних випадків

Модуль нещасні випадки та професійні захворювання має КРІ (кольорові індикатори), які характеризуються стан модулю. Він відображається в контекстному меню іконки в треї, а також на головному вікні на кнопці модулю. КРІ змінює кольори в залежності від наступних умов:

- червоний – наявне перевищення планованої дати завершення заходу по попередженню нещасних випадків (прострочений захід);
- жовтий – існує перевищення планованої дати завершення заходу по попередженню нещасного випадку на допустимий термін;
- зелений – нічого не прострочено.

Модуль «Нещасні випадки та професійні захворювання» має наступні налаштування:

- інформування про жовте значення КРІ;



При створення нового нещасного випадку після натискання кнопки «Добавить н/сл» вводяться дата нещасного випадку (при чому за замовчуванням автоматично виставляється поточна дата, яку можна змінити); зазначається час настання нещасного випадку та кількість повних годин від початку роботи (мається на увазі від початку робочої зміни потерпілого), обирається тип нещасного випадку, постраждалий обирається шляхом вибору особи із картотеки персоналу (при цьому всі поля, в яких вноситься інформація про потерпалого заноситься автоматично на основі даних, зазначених у особистій картці працівника). Слід відзначити, що програма дає можливість задати лише одного працівника одному нещасному випадку (рис. 6), тобто ускладнюється процес реєстрації групових нещасних випадків.

Як видно з рис. 6, у правому кутку наявні кнопки, які стосуються заповнення акту Н-1, наслідків нещасних випадків, сповіщення про нещасний випадок, протокол опитування, протокол огляду. Вони реалізовані для заповнення необхідної інформації по нещасним випадкам для подальшого автоматизованого документообігу.

Розглянемо автоматизований документообіг на прикладі заповнення акту Н-1 (рис. 7). Вікно розбите на вкладки, які відповідають певним параметрам та пунктам акту Н-1. Автоматизований документообіг по нещасним випадкам у програмі реалізований через кнопку «Печать». Натискання даної кнопки приводить до автоматизованого формування акту Н-1 на платформі MS Office, а саме у програмі Microsoft Word.

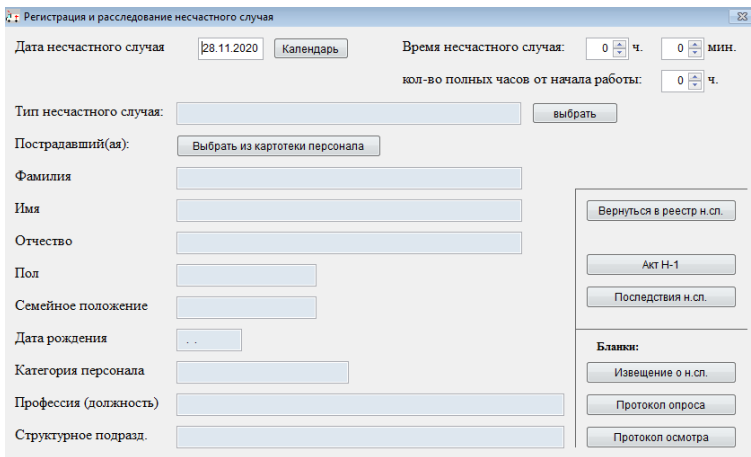


Рис. 6. Вікно травматизму по підприємству в АРМ ОТ

параметрам:

- коефіцієнт частоти нещасних випадків на виробництві;
- коефіцієнт смертності від нещасних випадків на виробництві;
- середня тривалість непрацездатності від нещасних випадків на виробництві;
- аналіз травматизму в залежності від віку потерпілих (табл. 1);
- аналіз травматизму в залежності від статі потерпілих;
- аналіз травматизму в залежності від категорії потерпілих;
- аналіз травматизму в залежності від стажу роботи потерпілих по даній професії;
- аналіз травматизму в залежності від кількості відпрацьованих від початку зміни годин;
- матеріальні збитки від нещасних випадків на виробництві.

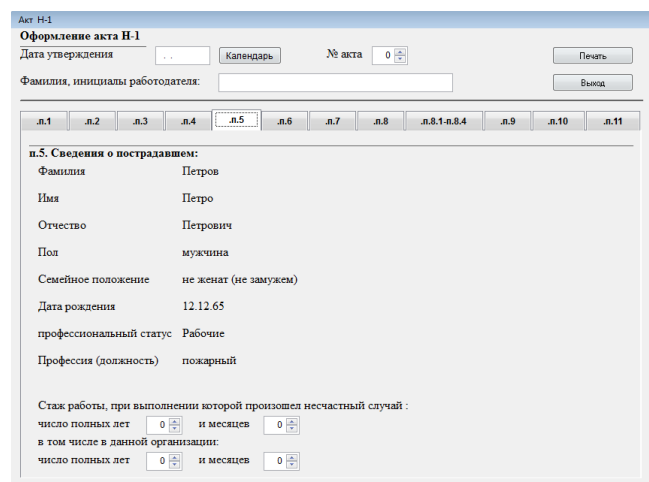


Рис. 7. Заповнення акту Н-1 в програмі АРМ ОТ

Приклад автоматично сформованого акту Н-1 наведений на рис. 8. Крім самого акту Н-1, у програмі існує можливість так само автоматизовано сформуванати повідомлення про наслідки нещасного випадку, сповіщення про наслідки нещасного випадку, протокол огляду та протокол опитування.

Окрім детального процесу реєстрації нещасних випадків та автоматизованого документообігу по розслідуванню нещасних випадків у програмі АРМ ОТ також реалізований аналіз травматизму по наступним

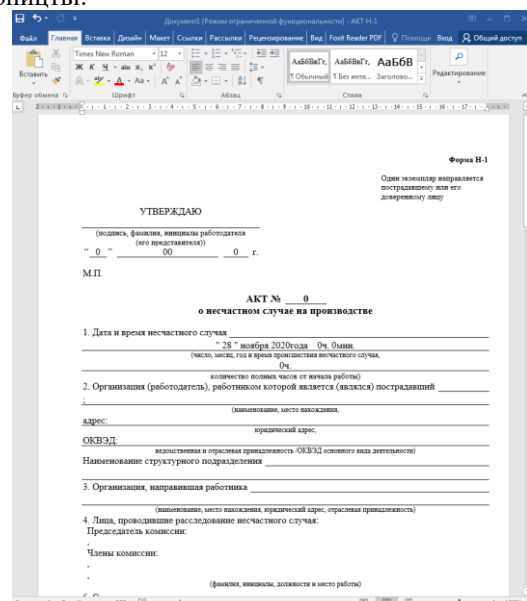


Рис. 8. Автоматично сформований акт Н-1 в MS

## Word

Кожен із видів аналізу можна виконати за певний рік, або за декілька років – у програмі реалізована можливість проводити аналіз травматизму від 1 до 5 років, при чому початковий рік обирається користувачем самостійно. Результати аналізу травматизму користувач може переглянути лише шляхом натискання кнопки «Печать», в результаті чого програма автоматично формує звідні таблиці із статистичними даними по травматизму підприємства, аналогічно до створення акту Н-1 в MS Word.

Таблиця 1

## Результати аналізу травматизму в АРМ ОТ на прикладі аналізу по віку потерпілих

Рік	Вік потерпілого, років						Всього потерпілих, чол.
	до 18	18-25	26-30	31-40	41-50	Більше 50	
2014	25% (1)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	50% (2)	25% (1)	4
2015	100% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	2
2016	100% (1)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	1
2017	---	---	---	---	---	---	0
2018	100% (1)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	1
Разом:	63% (5)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	25% (2)	13% (1)	100% (8)

Після проведеного аналізу функціональних можливостей програми АРМ ОТ було встановлено, що у програмі відсутня можливість реєстрації професійних захворювань на підприємстві та автоматизованого заповнення акту по формі Н-5.

## 3. ІС Виробнича безпека. Охорона праці.

Дана програма представляє собою рішення, призначене для автоматизації задач з охорони праці на підприємствах різних сфер. Рішення забезпечує автоматизацію процесів обліку, планування, контролю та формування аналітичної звітності з охорони праці.

Програмний продукт «ІС Виробнича безпека. Охорона праці» призначений для автоматизації задач охорони праці на підприємствах різних галузей. Серед основних переваг програмного продукту слід відмітити:

- Зниження ймовірності виникнення нещасних випадків, травматизму та професійних захворювань;
- Зниження розмірів економічних та соціальних збитків від неналежного стану охорони праці та умов праці;
- Облік та контроль витрат на заходи з охорони праці;
- Виконання вимог діючого законодавства з охорони праці.

Основні функціональні можливості програмного продукту:

- Облік виданих нарядів та нарядів-допусків, формування відповідної документації;
- Облік та контроль забезпеченості засобами індивідуального захисту, змашувальними та знешкоджувальними засобами;
- Автоматизований розрахунок необхідності видачі засобів індивідуального захисту, змашувальних та знешкоджуючих засобів;
- Автоматичне формування норм видачі засобів індивідуального захисту на основі типових норм;
- Автоматичне формування плану закупівель засобів індивідуального захисту по всій організації;
- Ведення електронних особистих карток обліку видачі засобів індивідуального захисту;
- Робота з даними нещасних випадків на виробництві, та інше [5].

Робота з нещасними випадками в даному програмному продукті входить в розділ «Охорона здоров'я», який призначений для:

- Підготовки, проведення та оформлення результатів проведення медичних оглядів ;
- Формування списку контингентів та поіменних списків осіб, які підлягають проходженню медичних оглядів;
- Розробки графіків проведення медичних оглядів та розрахунку виплат на їх проведення;
- Формування сповіщень про нещасні випадки та вводу даних актів розслідувань нещасних випадків.

Блок по роботі з даними про нещасні випадки включає в себе:

- Сповіщення про нещасний випадок;
- Накази про створення комісії по розслідуванню нещасних випадків;
- Протоколи оглядів місць нещасних випадків;
- Протоколи опитування потерпілих (очевидців);
- Акти розслідування нещасних випадків.

У програмному продукті є можливість сформувати акт про випадок професійного захворювання працівника, в якому вноситься вся необхідна інформація про певного працівника. В результаті роботи, при внесенні даних у форму вручну або при виборі з списку існуючих організацій та працівників, які працюють в ній, можна автоматично сформувати відповідні акти у форматі MS Word для їх подальшої правки або друку, тобто у програмі реалізований автоматизований документообіг.

В системі ведеться облік нещасних випадків на виробництві. Реалізована можливість формування сповіщення про нещасний випадок, створення наказу про створення комісії з розслідування НС на основі сповіщення про НС.

Аналогічним чином до форми реєстрації професійного захворювання реєструються нещасні випадки. У програмі є можливість ввести основні дані про нещасні випадки: опис події, дати та часу передачі та прийому сповіщення (рис. 9) про нещасний випадок.

На основі даних наказу про створення комісії з розслідування нещасних випадків в системі формуються документи «Протокол огляду місця нещасного випадку», «Протокол опитування потерпілого (очевидця)», «Акт розслідування нещасного випадку», «Акт розслідування групового нещасного випадку».

В програмі передбачено автоматичне створення акту розслідування нещасного випадку на основі даних про наказ про призначення комісії по розслідуванню нещасного випадку. Крім того, програмний комплекс дає можливість автоматично заповнювати на основі введених даних по нещасним випадкам на виробництві звіт по нещасним випадкам.

Система надає можливість планування та контролю за виконанням та управління заходами по усуненню порушень вимог нормативно-технічної документації, виявлених в результаті розслідування нещасних випадків та професійних захворювань, внутрішніх та зовнішніх перевірок стану охорони праці, а також заходів, направлених на попередження аналогічних нещасних випадків та професійних захворювань в майбутньому. В системі реалізовані аналітичні звіти для оперативного отримання інформації про виконання заходів в різних розрізах.

Серед переваг даного програмного продукту слід відмітити те, що це єдиний програмний продукт, який підтримує мобільну версію, в той час як АРМ ОТ та ЕРМ можуть використовуватись тільки на персональному комп'ютері або ноутбучі. Основним і головним недоліком даного програмного забезпечення є те, що він створений в Росії, містить документацію з охорони праці саме для Російської Федерації та формує відповідні акти російською мовою.

Всі три перераховані види програмного забезпечення, які можуть застосовуватись інженерами з охорони праці, розроблені на території Росії. Тобто, їм характерні наступні недоліки:

- відсутність версії із українським інтерфейсом;
- при наявності автоматичного документообігу, програма формує документи російською мовою та по формам, які відповідають законодавству Російської Федерації.

На території України майже немає компаній, які б спеціалізувались на розробці програмного забезпечення з охорони праці. Єдиною компанією є Київська фірма «ПРОТЕК», яка випустила наступні програмні продукти [6]: Автоекзаменатор «Охорона праці», функціональні можливості якого детально описані в роботі [2];- ПК «Організатор»; Бібліотека «Охорона праці»; Куточок «Охорона праці».

ПК «Організатор» - інтегрована система збору та аналізу даних про стан охорони праці на підприємстві. «Організатор» складається з програмних комплексів, схем зв'язку яких показана на рис. 10.

Хоча цей програмний комплекс має широкі функціональні можливості, в ньому відсутні будь-які функції по реєстрації нещасних випадків, аналізу травматизму та ведення документообігу при розслідуванні нещасних випадків.

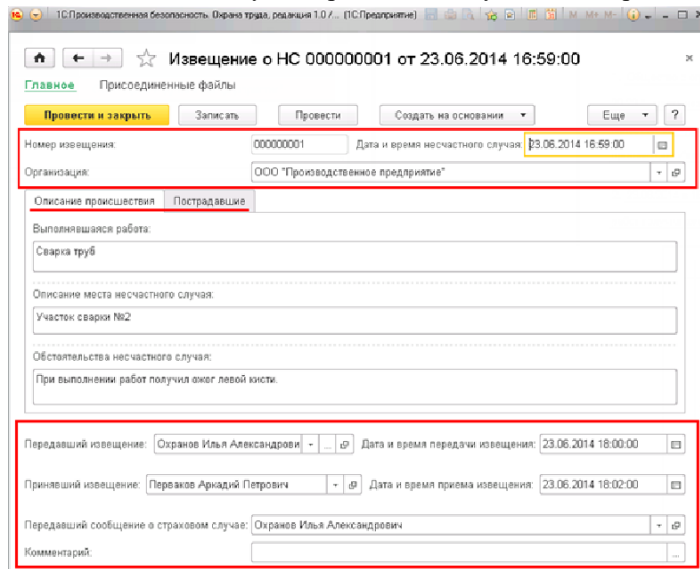


Рис. 9. Сповіщення про нещасний випадок в ІС Виробнича безпека: Охорони праці

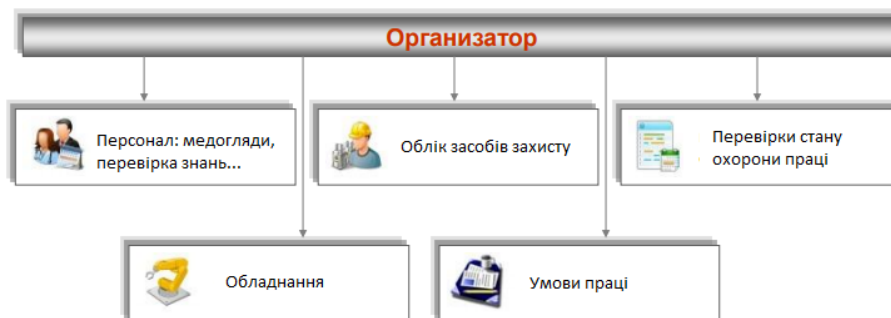


Рис. 10. Складові частини ПК «Організатор»



*Куточок «Охорона праці».* Куточок «Охорона праці» - це інформаційний ресурс служби охорони праці, спеціалізований веб-сайт. З точки зору аналізу виробничого травматизму та реєстрації нещасних випадків даний програмний продукт може використовуватись лише як база, яка містить відповідні порядки, закони та нормативно-правові акти.

*Бібліотека «Охорона праці».* Дана інформаційно-довідникова система призначена для забезпечення персоналу підприємства електронними копіями нормативних документів з питань охорони праці. Тобто, даний програмний продукт надає лише форми відповідних документів, які використовуються при розслідуванні нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, тощо. Всі інші функціональні можливості стосовно реєстрації нещасних випадків та аналізу травматизму у програмі відсутні.

Проведений аналіз дає змогу зробити висновок, що на території України взагалі відсутнє програмне забезпечення з можливістю реєстрації нещасних випадків, аналізу травматизму та ведення відповідного документообігу, хоча такі вже вирішені такі питання, як:

- перевірка знань з питань охорони праці з використанням інформаційних технологій;
- ведення інформації стосовно персоналу (проходження медоглядів, інструктажів, тощо);
- перевірка стану охорони праці на підприємстві (реєстрація порушень з охорони праці, облік приписів та актів за результатами перевірок, формування планів роботи служби охорони праці, облік витрат на охорону праці).

Розглядаючи питання вибору оптимального програмного комплексу для реєстрації нещасних випадків, аналізу травматизму та ведення відповідного документообігу слід виокремити основні параметри, за якими буде проводитись аналіз ефективності та вибір програмного продукту.

1. Вартість програми. З 01.05.2014 р. програма Автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці розповсюджується безкоштовно [4]. Вартість ліцензії Електронного робочого місця інженера з охорони праці на 1 комп'ютер становить 18 500 руб., що в еквіваленті становить 6932 грн. (станом на 29.11.2020 р.). При необхідності можна замовити будь-яку кількість ліцензій, при чому кожна наступна ліцензія буде коштувати 1000 руб. (375 грн.). На вартість програми ІС Виробнича безпека: Охорона праці впливає кількість ліцензій, які будуть замовлені. Ліцензія на 1 робоче місце коштує 30 000 рублів (11 241 грн.).

2. Наявність оновлень. Оновлення програм є важливою складовою для їх коректної роботи, особливо у випадку зміни певних нормативних актів з охорони праці або законодавства з охорони праці. В такому випадку введення нових регламентуючих документів у програму можливе лише шляхом її оновлення.

АРМ ОТ знята з продажу, розповсюджується безкоштовно і не оновлюється вже декілька років [4]. Оновлення до ЕРМ виходять кожні 3 роки, але коштує кожне оновлення 3500 руб. (1311 грн.). У програмі ІС: Виробнича безпека оновлення виконуються регулярно декілька разів на рік, поставляються.

3. Технічна підтримка. Технічна підтримка програмного забезпечення – це необхідний елемент для коректного функціонування програмного забезпечення, виправлення несправностей, встановлення оновлень та більш нових можливостей. Інколи програмний продукт без наявних причин видає помилки та працює некоректним чином – саме такі проблемні питання та задачі вирішує техпідтримка.

Таблиця 2

**Наявність та вартість технічної підтримки програмного продукту**

АРМ ОТ	відсутня
ІС: Виробнича безпека	13 700 руб. (5133 грн.)/рік
ЕРМ	безкоштовна

Таблиця 3

**Додаткові можливості програм**

Додаткові можливості	ІС Виробнича безпека: Охорона праці	АРМ ОТ	ЕРМ
Картотека персоналу	+	+	+
Навчання та перевірка знань з охорони праці	-	+	+
Забезпечення ЗІЗ	+	+	+
Інструктажі з ОП	+	+	+
Атестація робочих місць	+	-	+
Виробничий контроль	-	+	+
Загальні довідники	+	-	+
Картотека обладнання	-	+	-
Реєстрація перевірки та ремонту обладнання	-	+	-
Видача приписів співробітникам	+	+	-
Ведення архіву документів	+	+	+
Облік витрат в сфері охорони праці	+	+	-
Проведення медоглядів персоналу	+	+	+
Кадровий облік	+	+	+

Розглядаючи питання наявності технічної підтримки для кожного з проаналізованих програмних комплексів, результати можна представити у таблиці 2.

4. Додаткові можливості програм. Порівняння додаткових можливостей програм наведено у табл. 3.

#### Висновки

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільш оптимальним програмним продуктом для реєстрації нещасних випадків, аналізу травматизму та автоматизованого документообігу є Автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці.

Хоча програмний продукт розроблений для підприємств Росії та має російський інтерфейс, він має наступні переваги перед іншими програмами:

- широкий спектр додаткових можливостей, який покриває майже всі аспекти з питань охорони праці;
- програма безкоштовна;
- у програмі реалізований аналіз травматизму по дев'ятьом параметрам;
- реалізована можливість автоматичного створення та заповнення документації, пов'язаної з розслідуванням нещасних випадків.

Оптимізувати дану програму можна шляхом форматування сформованого у програмі акту Н-1 під вимоги українського законодавства. Слід враховувати, що даний програмний продукт є найбільш оптимальним лише по тій причині, що відсутні програмні продукти українського випуску. Тобто для автоматизованої реєстрації нещасних випадків та ведення відповідного документообігу більш оптимальним буде український варіант програми, як тільки він буде розроблений.

#### Література

1. НПАОП 0.00-6.02-04. Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://dnaop.com/html/4036/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F\\_0.00-6.02-04](https://dnaop.com/html/4036/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-6.02-04)

2. Соколан Ю.С. Аналіз програмного забезпечення для навчання та перевірки знань з питань охорони праці. / Ю.С. Соколан, О.В. Романішина // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. - № 4 (287) – с. 76-84

3. Руководство пользователя ЭРМ инженера по охране труда. [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.forum-media.ru/doc/6024/manual/help.htm>

4. «АРМ ОТ» - автоматизированное рабочее место специалиста по охране труда [Електронний ресурс] – Режим доступу [https://ohranatruda.ru/ot\\_soft/arm/index.php](https://ohranatruda.ru/ot_soft/arm/index.php)

5. 1С:Производственная безопасность. Охрана труда. [Електронний ресурс] – Режим доступу [https://solutions.1c.ru/catalog/ehs\\_occsaf/features](https://solutions.1c.ru/catalog/ehs_occsaf/features)

6. Науково-виробниче підприємство «ПРОТЕК». Эффективный инструмент службы охраны труда [Електронний ресурс] – Режим доступу [http://www.protec.ua/main\\_ua.html?#page:id:21](http://www.protec.ua/main_ua.html?#page:id:21)

#### References

1. НПАОП 0.00-6.02-04. Review procedure and record keeping of accidents, occupational diseases and failure events on production. [Electronic source]. – Available at: [https://dnaop.com/html/4036/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F\\_0.00-6.02-04](https://dnaop.com/html/4036/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-6.02-04)

2. Sokolan Yu.S. Analysis of the software for training and knowledge assessment regarding professional safety / Yu. S. Sokolan, O.V. Romanishyna // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. – 2020. – No. 4 (287). – p. 76-84

3. User's manual of ERM of occupational safety engineer. [Electronic source]. – Available at: <http://www.forum-media.ru/doc/6024/manual/help.htm>

4. "ARM OT" – automated working station of occupational safety engineer. safety [Electronic source]. – Available at: [https://ohranatruda.ru/ot\\_soft/arm/index.php](https://ohranatruda.ru/ot_soft/arm/index.php)

5. 1С: Occupational safety. Safety and health protection. [Electronic source]. – Available at: [https://solutions.1c.ru/catalog/ehs\\_occsaf/features](https://solutions.1c.ru/catalog/ehs_occsaf/features)

6. Scientific and production enterprise "PROTEK". Effective instrument of occupational safety and health division. [Electronic source]. – Available at: [http://www.protec.ua/main\\_ua.html?#page:id:21](http://www.protec.ua/main_ua.html?#page:id:21)

Рецензія/Peer review : 23.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОНЛАЙН СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАТЬ СПОЖИВАЧІВ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

У роботі запропоновано моделювання процесів онлайн системи до оцінки знань споживачів освітніх послуг на основі CASE-технологій. Запропоновано статичне представлення структури онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО на основі UML-діаграми класів. Представлено поведінку учасників онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО на основі UML-діаграми станів. Зображено взаємодію між акторами та сутностями системи за допомогою UML-діаграми використання, а взаємодію учасників оцінювання знань з часом у запропонованій системі – на основі UML-діаграми послідовності. Результати дослідження використовуються і можуть бути використані для оцінки знань споживачів освітніх послуг та ефективного надання освітніх послуг закладами вищої освіти.

*Ключові слова:* онлайн система, CASE-технології, оцінювання знань, споживачі освітніх послуг, заклад вищої освіти.

A. SHILINH

Lviv Polytechnic National University

## MODELING THE PROCESSES OF THE ONLINE KNOWLEDGE ASSESSMENT SYSTEM OF EDUCATIONAL SERVICES CONSUMERS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The aim of the article is to model the processes of the online knowledge assessment system of educational services consumers in higher education institutions. In this paper, the modeling of the processes of the online knowledge assessing system of educational services consumers is based on the organization of education in higher education institutions. However, it should be noted that the scope of this online knowledge assessment system, in addition to the direct educational services consumers to which this system is focused, are also any other educational institutions and organizations that require regular testing of workers. The article modeling the processes of the online knowledge assessment system is based on CASE-technologies. In particular, a static representation of the structure of the online knowledge assessment system of educational services consumers in higher education institutions is presented in the Class Diagram; modeling the behavior of participants in the online knowledge assessment system of educational services consumers is shown in the State Machine Diagram; the interaction between the actors and the entities of the system is depicted using a Use Case Diagram, and the interaction of participants in the assessment of knowledge over time in the proposed system is shown in the Sequence Diagram. Modeling the processes of the online knowledge assessment system of educational services consumers is the basis for developing the architecture of the relevant information system. The use of the proposed online knowledge assessment system of educational services consumers makes it possible to optimize the process of testing the knowledge of consumers of educational services and management decisions by higher education institutions in order to improve the quality of educational material.

*Keywords:* online system, CASE-technologies, knowledge assessment, consumers of educational services, higher education institution.

### Постановка проблеми

Ефективне функціонування та конкурентоспроможність закладу вищої освіти (ЗВО) на ринку освітніх послуг визначається його можливістю швидко адаптуватися до вимог розвитку сучасного суспільства.

На сьогодні, заклади вищої освіти є основним осередком надання освітніх послуг для здобувачів вищої освіти. В умовах пандемії Covid-19, ЗВО зазнали серйозних змін у своєму підході до організації навчального процесу [1], що змінило спосіб управління установами своїми процесами, послугами та структурами і змусило їх перерости в рамки, коли такі елементи стали інструментами гнучкості та інновацій, а не перешкодами для зростання та розвитку [2]. Оскільки якість наданих освітніх послуг під час навчання, як результату проведення освітнього процесу, стала основним показником діяльності освітніх установ, то це створило необхідність розробки різних засобів для контролю знань споживачів освітніх послуг не лише у ЗВО.

Існуючі системи для оцінювання знань, які використовуються у ЗВО, ґрунтуються на платформах для дистанційного навчання (ATutor, Moodle, Claroline, Live@EDU). Це, у свою чергу, вимагає відповідного апаратного та програмного забезпечення. Отже, створення системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг, яка б функціонувала як самостійно і як додаток до існуючого середовища оцінювання знань є актуальним у сучасних умовах. Саме тому, моделювання процесів онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у закладах вищої освіти з використанням Case-технологій, що є основою для розробки архітектури відповідної інформаційної системи, зумовлює *актуальність* даної роботи.

### Аналіз останніх джерел

Дослідження методів та алгоритмів оптимізації Web-систем та принципів формального моделювання інформаційних систем на базі Web-технологій описані у роботах [3, 4]. Принципи моделювання Web-орієнтованих інформаційних систем та приклади їх формального моделювання на основі CASE-технологій розглядаються у дослідженні [5]. Використання CASE-технологій для моделювання діяльності інформаційних систем є предметом досліджень [6, 7] Зокрема, у роботі [8] розглядається

об'єктно-орієнтований аналіз та проектування з використанням UML. Аналіз методів та моделей проектування на основі сучасних CASE-засобів є основою дослідження [9].

Концепція створення і використання інформаційного порталу тестування та оцінювання знань як одного із перспективних напрямків для розвитку та побудови віртуальних освітніх середовищ у сучасному освітньому просторі розглядається у роботі [10].

Але жодне із досліджень не розглядає можливості моделювання процесів онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у закладах вищої освіти, що є основою розробки архітектури відповідної інформаційної системи, яка може функціонувати як додатковий елемент середовища для навчання, або як самостійна система для оцінювання знань. Саме тому, основним завдання цієї статті є моделювання процесів онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг для ефективного функціонування ЗВО на рингу освітніх послуг та для прийняття управлінських рішень з боку ЗВО для забезпечення якості засвоєного навчального матеріалу.

**Метою роботи є:** моделювання процесів онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у закладах вищої освіти на основі CASE-технологій.

#### Виклад основного матеріалу

Система оцінювання знань споживачів освітніх послуг призначена для інтеграції всіх учасників закладу вищої освіти в єдиний інформаційний простір з можливістю надання та доступу до інформації, що використовується в рамках навчального процесу з застосуванням засобів технічного захисту державного зразку.

У цій роботі моделювання процесів онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг розглядається у контексті організації навчання у ЗВО. Але варто зауважити, що областю застосування цієї системи оцінювання знань, окрім безпосередньо ЗВО, на які ця система орієнтована, є також будь-які інші навчальні установи та організації, для яких потрібне регулярне тестування робітників.

Онлайн система оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО – це інформаційна система, що є комплексом програмно-апаратних засобів для автоматизованої обробки, зберігання та передачі інформації у відповідності з вимогами діючого законодавства.

Метою онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг є мінімізація паперового документообігу при виконанні письмових завдань споживачами освітніх послуг, оптимізація процесів оцінювання та отримання результатів оцінювання.

Об'єктом дослідження є процес оцінювання споживачів освітніх послуг у ЗВО.

Предмет дослідження – методи та засоби, які використовуються у процесі оцінювання споживачів освітніх послуг. У результаті розробки запропоновано інформаційну систему, функціонал якої дозволяє створювати і проводити онлайн тестування, а також на основі результатів тестувань система автоматично створюватиме статистику різного типу.

Основною цільовою аудиторією цієї інформаційної системи є навчально-педагогічний персонал ЗВО – викладачі, та споживачів освітніх послуг – студенти.

Запропонована система дозволяє користувачам виконувати наступні операції:

- реєстрація – перевірка введених даних реєстрація нового користувача в системі;
- авторизація – перевірка введених даних та вхід користувача в систему;
- автентифікація – встановлення належності користувачеві інформації в системі пред'явленого ним ідентифікатора;
- взаємодія з даними – реалізація методів отримання даних з бази даних;
- створення тестування – користувач додає метод оцінювання знань студентів;
- виконання тестів – користувач обирає відповіді на запитання;
- використання різних типів питань – питання текстові або з картинкою.

На сьогодні технології проектування інформаційних систем здійснюються на основі CASE-засобів. Саме тому модель функціонування системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг представлено за допомогою UML-діаграм класів, станів, та послідовності.

Статичне представлення структури інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО представлена на діаграмі класів інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО (Рис.1).

Основними класами цієї системи є: «Викладач», «Студент», «Тест». «Викладач» може виконувати наступні дії: додавати користувача, додавати/видаляти тест, і показувати статистику користувачів. «Студент» може виконувати тести і переглядати свою статистику.

Клас «Тест» відповідає за створення/видалення завдань тесту, оцінку тесту, має заголовок, опис, оцінку і статус. Клас «Тест на час» наслідує все з класу «Тест» і додає час, який розрахований для виконання тесту. У «Завданні» міститься опис, оцінка і відповіді до завдань. Передбачено два типи відповідей: «Текстова» і «Варіантна». «Варіантна» відповідь містить в собі множину варіантів відповідей.

Моделювання поведінки учасників інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО зображена на діаграмі станів інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО (Рис. 2).

«Викладач» або «Студент» повинні спочатку ввійти в систему. Для цього користувачу необхідно ввести вводить номер мобільного телефону і ввести підтверджувальний код. На діаграмі це представлено

циклом, який показує, що є 3 спроби введення підтвердженого коду. Якщо 3 рази код підтвердження введено не правильно, то система блокує IP комп'ютера і більше не буде обробляти запити від нього. Після входу користувачу відкривається його сторінка з опціями.

На діаграмі станів можна виділити стан де здійснюється розмежування користувачів – «Перевірити користувача». Відповідно для викладача одні стани, для студента інші. У студента є можливість виконувати тести, вибираючи відповіді в завданнях.

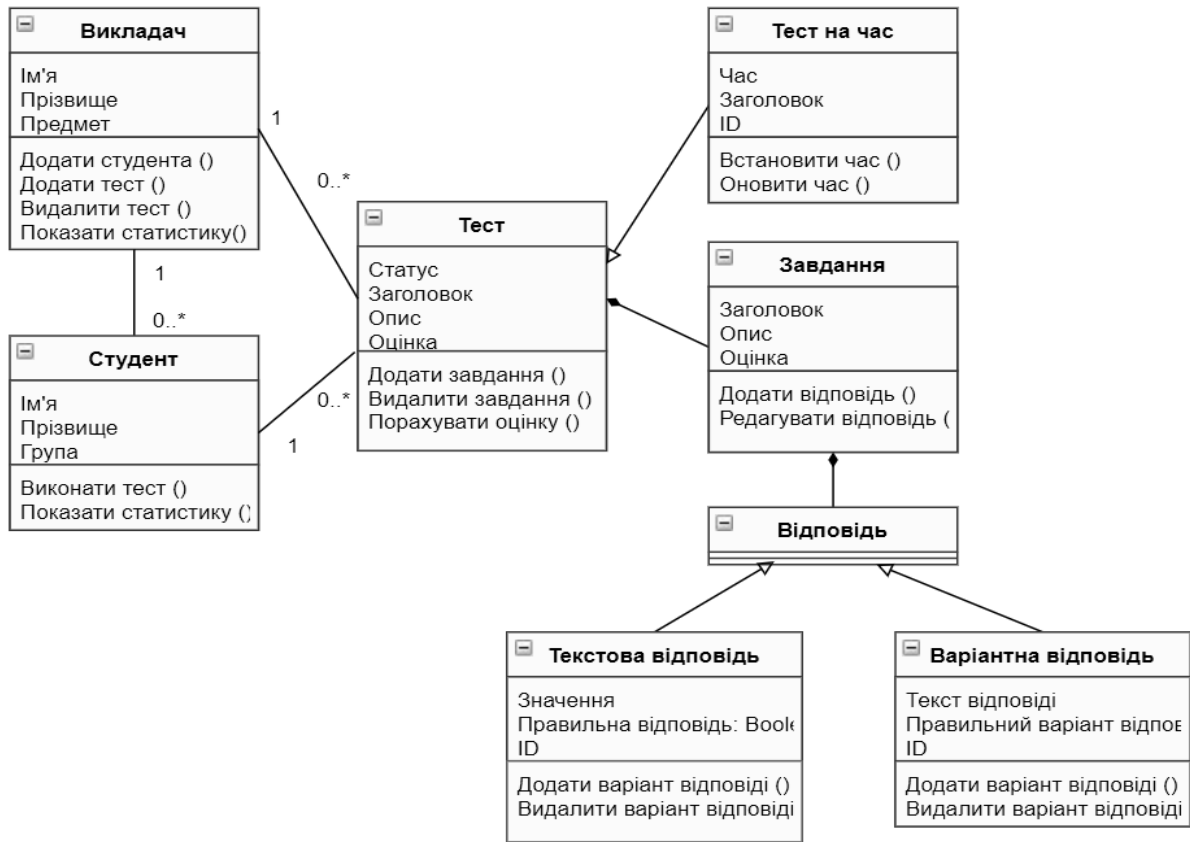


Рис.1. Деталізована діаграма класів інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО

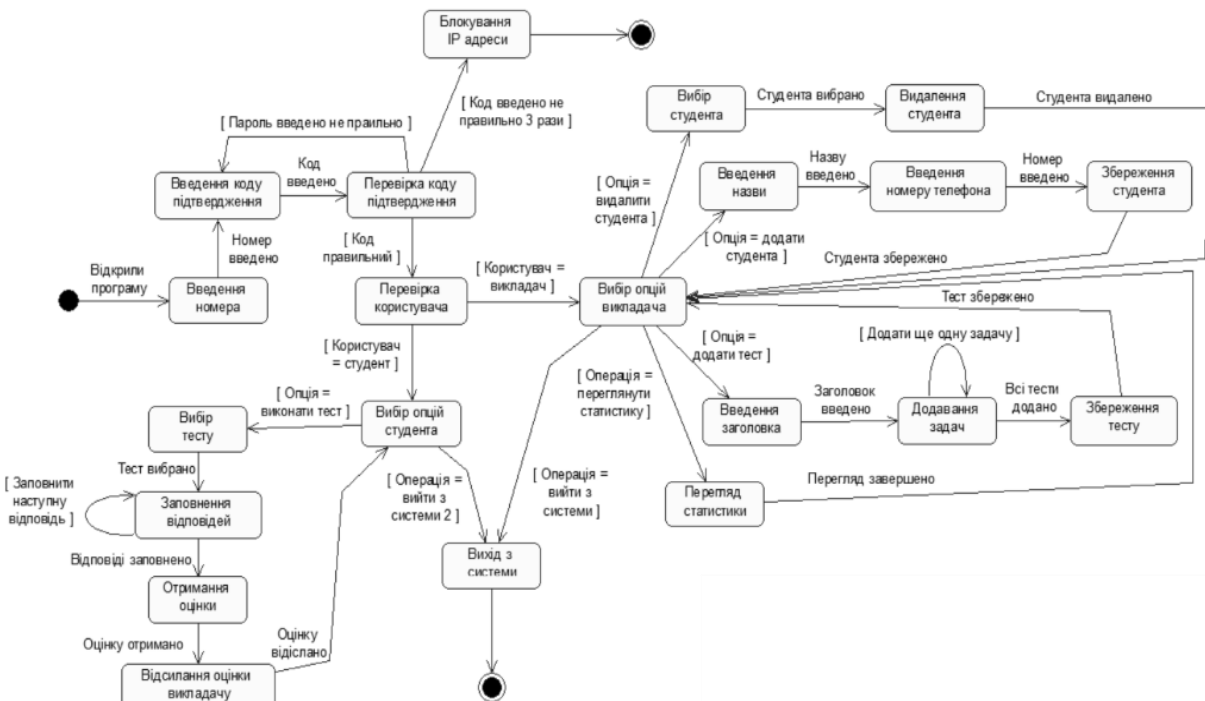


Рис.2. Діаграма станів інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО

На діаграмі заповнення відповідей відображено рекурсивним зв'язком, що свідчить про можливість для студента проходити один стан декілька разів. Аналогічно і для викладача, коли він додає завдання у «Тест». Для кожного з користувачів потрібно організувати вихід з системи, це показано станом «Вийти з системи», який пов'язаний з опціями користувачів. Взаємодія між акторами та сутностями системи зображена за допомогою діаграми використання інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО (Рис. 3).

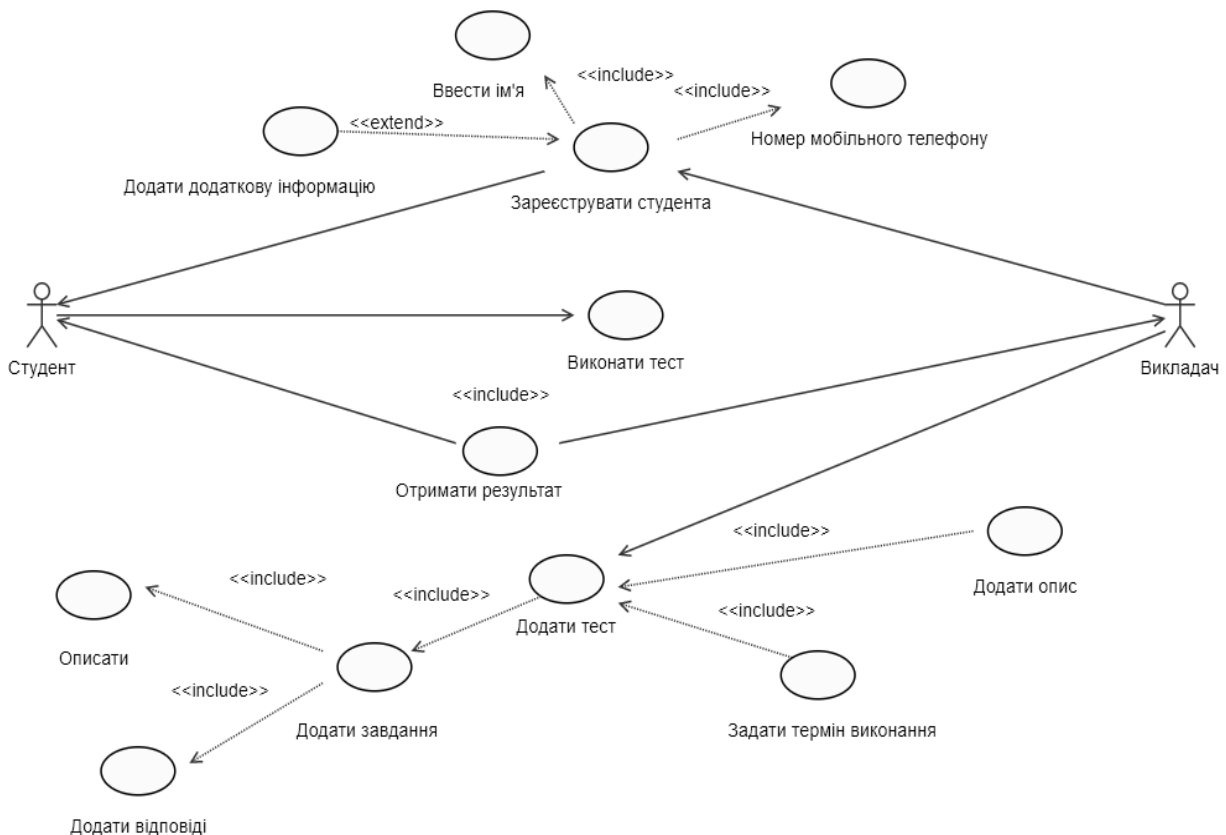


Рис.3. Діаграма варіантів використання інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО

На діаграмі варіантів використання зображено два актори: «Студент» та «Викладач».

Відношення асоціації показане на прикладі «Викладач» – «Зареєструвати студента». Відношення включення («include») показане на прикладі «Зареєструвати студента» – «Ввести номер мобільного». Тобто, для того, щоб «Зареєструвати студента», «Викладач» повинен виконати певну дію: «Ввести номер мобільного».

Також використано відношення розширення («extend»). Наприклад, «Зареєструвати студента» – «Ввести додаткову інформацію», де «Ввести додаткову інформацію» не є обов'язковою дією.

Взаємодія учасників оцінювання знань з часом у запропонованій системі показано на діаграмі послідовності інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО (Рис. 4).

«Викладач» або «Студент» повинні спочатку увійти в систему. Після введених даних вони перевіряються в базі даних і повертаються у вигляді персональної сторінки користувача. «Викладач» може додати «Тест». Після введення даних, вони зберігаються в базі даних і повертають результат. Якщо результат позитивний, то це означає, що все збережено і надсилається сповіщення про новий «Тест» до відповідних «Студентів». «Студент» відкриває «Тест» та проходить тестування. «Викладач» отримує сповіщення про оцінку «Студента».

Отже, за допомогою CASE-засобів представлено статичну структуру інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО (UML-діаграма класів), змодельовано поведінку учасників інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО (UML-діаграма станів), зображено взаємодію між акторами та сутностями системи (UML-діаграма використання) та представлено учасників оцінювання знань з часом у запропонованій системі (UML-діаграма послідовності). Це дозволило у повній мірі представити функціонування інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО.

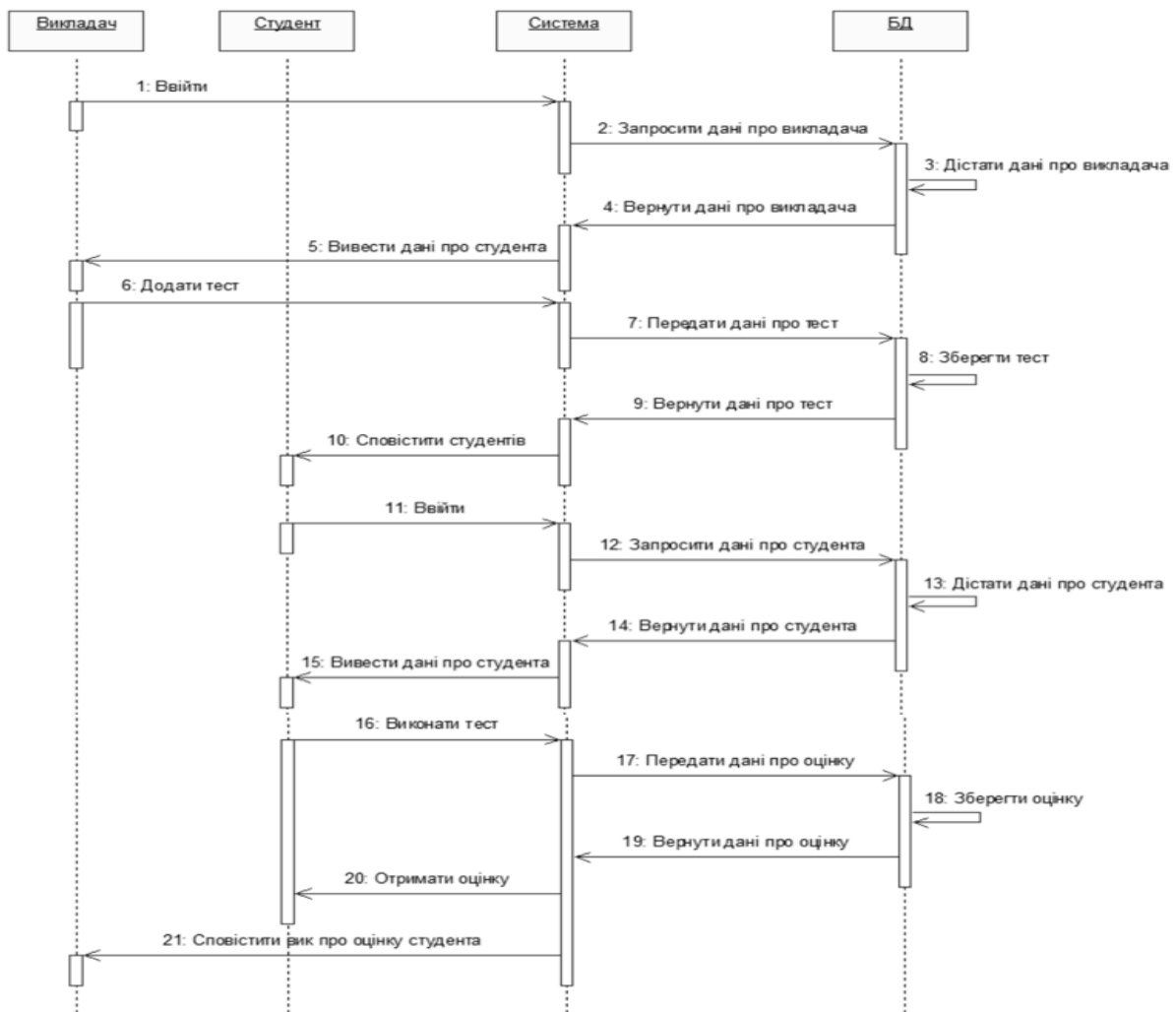


Рис.4. Діаграма послідовності інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО

### Висновки

Отже, у даній роботі моделювання процесів онлайн системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг представлено з використанням CASE-технологій. Зокрема, статичне представлення структури інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО представлена на UML-діаграмі класів; моделювання поведінки учасників інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у ЗВО зображена на UML-діаграмі станів; взаємодія між акторами та сутностями системи зображена за допомогою UML-діаграми використання, а взаємодія учасників оцінювання знань з часом у запропонованій системі показано на UML-діаграмі послідовності. Це дає можливість оптимізувати процес перевірки знань споживачів освітніх послуг та управлінських рішень з метою підвищення якості навчального матеріалу. Моделювання процесів діяльності онлайн системи для оцінювання знань споживачів освітніх послуг є основою для розробки архітектури відповідної інформаційної системи і може використовуватися навчальними установами та організаціями, для регулярного тестування робітників.

### Література

1. Pucciarelli F., Kaplan A. Competition and strategy in higher education: Managing complexity and uncertainty / F. Pucciarelli, A. Kaplan // *Business Horizons*. – 2016. – Vol 59. – P. 311–320.
2. Mikhno N., Sorokina L. Trend analysis of the educational choice of university entrants as tool to improve the quality of educational service / N. Mikhno, L. Sorokina // *International Journal of Information and Communication Technologies in Education*. – 2017. – Vol. 6(3). - P. 36-39.
3. Пелещин А.М. Методи та алгоритми оптимізації Web-систем / А.М. Пелещин // *Вісник Державного університету «Львівська політехніка»*. – 2000. – № 406. – С. 199–211.
4. Буров С.В., Пелещин А.М. Аналіз та оптимізація інформаційних потоків у сучасних internet та intranet системах / С.В. Буров, А.М. Пелещин // *Вісник Державного університету «Львівська політехніка»*. – 1998. – № 9330. – С.27–34.
5. Бойко Н. І. Принципи формального моделювання інформаційних систем на основі web-технологій / Н. І. Бойко // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. – 2012. – № 745 : Комп'ютерні системи та мережі. – С. 14–20.

6. Ларман К. Застосування UML 2.0 і шаблонів проектування / К. Ларман. – [3-є вид.]. – М.: «Вільямс». – 2006. – 736 с.
7. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Мова UML. Керівництво користувача / Г. Буч, Д. Рамбо, А. Джекобсон. – [2 вид.]. – М., СПб.: ДМК Пресс, Пітер. – 2004. – 432 с.
8. Іванов Л.В. Основи ООП. Створення UML-діаграм [Електронний ресурс] / Л.В. Іванов //– Режим доступу: [http://iwanoff.96.lt/cross\\_platform/LabTraining01.html](http://iwanoff.96.lt/cross_platform/LabTraining01.html)
9. Мінухін С.В. Методи і моделі проектування на основі сучасних CASE-засобів: навчальний посібник / С. В. Мінухін, О. М. Беседовський, С. В. Знахур. — Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. — 272 с
10. Коноваленко О.Є., Брусенцев В.О. Концепція створення і використання інформаційного порталу тестування та оцінювання знань / О.Є. Коноваленко, В.О. Брусенцев //Системи обробки інформації. – 2010. – № 9. – С. 153–156.

#### References

1. Pucciarelli F., Kaplan A. Competition and strategy in higher education: Managing complexity and uncertainty / F. Pucciarelli, A. Kaplan // Business Horizons. – 2016. – Vol 59. – P. 311–320.
2. Mikhno N., Sorokina L. Trend analysis of the educational choice of university entrants as tool to improve the quality of educational service / N. Mikhno, L. Sorokina // International Journal of Information and Communication Technologies in Education. - 2017. – Vol. 6(3). – P. 36–39.
3. Peleshchyshyn A.M. Metody ta alhorytmy optymizatsii Web-system / A.M. Peleshchyshyn // Visnyk Derzhavnoho universytetu «Lvivska politehnika». – 2000. – № 406. – С. 199–211.
4. Burov Ye.V., Peleshchyshyn A.M. Analiz ta optymizatsiia informatsiinykh potokiv u suchasnykh internet ta intranet systemakh / Ye.V. Burov, A.M. Peleshchyshyn // Visnyk Derzhavnoho universytetu «Lvivska politehnika». – 1998. – № 9330. – С.27–34.
5. Boiko N. I. Pryntsyпы formalnoho modeliuвання informatsiinykh system na osnovi web-teknolohii / N. I. Boiko // Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika". – 2012. – № 745 : Kompiuterni systemy ta merezhi. – S. 14–20.
6. Larman K. Zastosuvannya UML 2.0 i shabloniv proektuvannya / K. Larman. – [3-ye vyd.]. – М.: «Viliams». – 2006. – 736 с.
7. Buch H., Rambo D., Dzhekobson A. Mova UML. Kerivnytstvo korystuvacha / H. Buch, D. Rambo, A. Dzhekobson. – [2 vyd.]. – М., SPb.: DМК Press, Piter. – 2004. – 432 с.
8. Ivanov L.V. Osnovy OOP. Stvorennia UML-diahram [Elektronnyi resurs] / L.V. Ivanov // – Rezhym dostupu: [http://iwanoff.96.lt/cross\\_platform/LabTraining01.html](http://iwanoff.96.lt/cross_platform/LabTraining01.html)
9. Minukhin S.V. Metody i modeli proektuvannya na osnovi suchasnykh CASE-zasobiv: navchalnyi posibnyk / S. V. Minukhin, O. M. Besedovskyi, S. V. Znakhur. — Kharkiv: Vyd. KhNEU, 2008. — 272 с
10. Konovalenko O.Ie., Brusentsev V.O. Kontseptsiiia stvorennia i vykorystannia informatsiinoho portalu testuvannya ta otsiniuvannya znan / O.Ie. Konovalenko, V.O. Brusentsev //Systemy obrobky informatsii. – 2010. – № 9. – С. 153–156.

Рецензія/Peer review : 13.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.



## АНИМУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АФІННИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

В роботі розроблено алгоритм створення ефекту анімації об'єктів на статичних зображеннях за допомогою афінних перетворень в умовах обмеженої ємнісної та часової складності. Сьогодні анімування зображень усе частіше використовується в індустрії розваг і виконується за умови обмеження ресурсів – на мобільних пристроях, в режимі реального часу тощо. Об'єкти анімування можуть бути різної природи – від облич людей, не фізичних об'єктів (аватарів) до будь-чого, визначеного користувачем на зображенні. Під анімацією зображень розумітимемо зміну параметрів обраних об'єктів на зображенні з плином часу. В основі цього лежатиме той факт, що зорова система людини сприймає набір окремих зображень, що подаються з досить високою швидкістю, як безперервний рух. Під змінними параметрами об'єкта розумітимемо переміщення об'єкта із збереженням його форми. Необхідність у розробленні такого алгоритму виникає для опрацювання зображень на мобільних пристроях. Для цього було обрано такі афінні перетворення, як поворот та перенос. За допомогою повторення комбінації зазначених перетворень за заданий проміжок часу та зі сталою швидкістю буде досягатися ефект анімації об'єкта. Афінні перетворення обрано через їх властивість зберігати пропорції паралельних об'єктів, а саме довжину відрізків на паралельних прямих і площ на паралельних площинах. Така властивість дозволяє будувати паралельні прообрази полігону об'єкта на площині по кінцевому набору точок, що виражають полігон об'єкта. Кількість паралельних площин залежить від кількості об'єктів на зображення, які будуть піддаватися ефекту анімації. Також було окреслено проблему розрахункової складності при виконанні методів, а саме розрахунок тригонометричних функцій. Для вирішення зазначеної проблеми було запропоновано розрахунок за допомогою ряду Тейлора з визначеною похибкою та використання тригонометричних тотожностей.

Ключові слова: афінні перетворення, анімування об'єктів, часова складність.

O. Y. SHAMURATOV, N. B. SHAKHOVSKA

National University Lviv Polytechnic

## ANIMATION OF OBJECTS BY MEANS OF AFFINE TRANSFORMATIONS

The algorithm of creation of effect of animation of objects on static images by means of affine transformations in the conditions of limited capacitive and time complexity is developed in the work. Today, image animation is increasingly used in the entertainment industry and is performed with limited resources - on mobile devices, in real time and more. Animation objects can be of various natures, from human faces, non-physical objects (avatars) to anything user-defined in an image. By image animation we mean changing the parameters of selected objects in the image over time. This will be based on the fact that the human visual system perceives a set of individual images that are presented at a fairly high speed, as a continuous movement. By variable parameters of an object we mean moving an object while preserving its shape. The need to develop such an algorithm arises for image processing on mobile devices. For this purpose, such affine transformations as rotation and transfer were chosen. By repeating the combination of these transformations for a given period of time and at a constant speed, the effect of animating the object will be achieved. Affine transformations are chosen because of their ability to preserve the proportions of parallel objects, namely the length of segments on parallel lines and areas on parallel planes. This property allows you to build parallel prototypes of an object polygon on a plane along a finite set of points that express the object polygon. The number of parallel planes depends on the number of objects in the image that will be exposed to the animation effect. The problem of computational complexity in performing methods was also outlined, namely the calculation of trigonometric functions. To solve this problem, a calculation using the Taylor series with a certain error and the use of trigonometric identities were proposed.

Keywords: affine transformations, object animation, time complexity.

### Вступ

Під анімацією зображень розумітимемо зміну параметрів обраних об'єктів на зображенні з плином часу. В основі цього лежатиме той факт, що зорова система людини сприймає набір окремих зображень, що подаються з досить високою швидкістю, як безперервний рух. Під змінними параметрами об'єкта розумітимемо переміщення об'єкта із збереженням його форми.

Афінне перетворення є комбінацією лінійних перетворень, супроводжуваних переносом зображень. Афінні перетворення формують зручну підсистему білінійних перетворень, тому що добуток двох афінних перетворень також є афінним. Це дозволяє представити узагальнену орієнтацію системи точок стосовно довільної координатної системи при збереженні одиничного значення однорідної координати  $H$  [1].

Для створення ефекту анімації на статичних зображеннях добре використовувати афінні перетворення. Це досягається завдяки тому, що афінні перетворення мають властивість зберігати пропорції паралельних об'єктів, а саме довжину відрізків на паралельних прямих і площ на паралельних площинах. Така властивість дозволяє будувати паралельні прообрази полігону об'єкта на площині по кінцевому набору точок, що виражають полігон об'єкта.

Сьогодні анімування зображень усе частіше використовується в індустрії розваг і виконується за умови обмеження ресурсів – на мобільних пристроях, в режимі реального часу тощо. Об'єкти анімування можуть бути різної природи – від облич людей [2], не фізичних об'єктів (аватарів) [3] до будь-чого, визначеного користувачем на зображенні.

Анімування забезпечується різними техніками. Так, у [4] використовується метод квазі-випадкової

прогулянки для створення зображень та ефектів анімації у них. Проте, ця методика не може бути застосованою до об'єктів невизначеної на момент анімування природи, що не дає змоги застосувати цей метод у режимі реального часу.

Автори у [5] реалізували систему додавання анімації водоспаду шляхом вилучення анімації потоку з послідовності відео. Запропонований спосіб інтегрує оптичний потік, інтегральну лінію згортки, передачу кольору, графічне вирівнювання та сплайн-схеми з різною роздільною здатністю, щоб імітувати реальний водоспад на одному зображенні. Він використовує процес сегментації, щоб відокремити необхідний передній план і зайвий фон. Потім аналіз потоку проводиться на цільовому зображенні та вихідному відео. Нарешті, для формування анімації застосовується подібність потоку та процес синтезу. Проте, такий підхід можна застосовувати не до одного зображення, а за наявності серії зображень.

Для опрацювання зображень широко використовують конволюційні нейронні мережі [6]. Однак конволюційні нейронні мережі обмежені відсутністю здатності просторово перетворювати входи.

Ця робота є продовженням досліджень [7]. Метою статті є анімування статичних зображеннях в умовах обмеженої ємнісної на часовій складності. За допомогою повторення комбінації повороту та перенесення за заданий проміжок часу та зі сталою швидкістю досягатиметься ефект анімації об'єкта. Для зменшення часової складності обчислень під час визначення тригонометричних функцій запропоновано розрахунок за допомогою ряду Тейлора з визначеною похибкою та використання тригонометричних тотожностей.

### Застосування афінних перетворень для створення анімації

Для анімації потрібно робити паралельний перенос об'єкта на нову площину, тому додамо третю координату, що відповідатиме за номер паралельної поверхні ( $P$ ), на якій буде розташований новий перетворений об'єкта саме зображення будемо розглядати у тривимірному просторі. Отже, тоді ми можемо створювати копію обраного об'єкту, використовуючи паралельне перенесення на нову паралельну поверхню, тоді координати центра нового об'єкту:

$$(x', y', z') \rightarrow (x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z), \tag{1}$$

де  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  та  $\Delta z$  є нормальними векторами початкової площі зображення.

Кількість паралельних площин залежить від кількості об'єктів на зображення, які будуть піддаватися ефекту анімації [8].

Сам ефект анімації досягається за рахунок повторення таких афінних перетворень, як поворот та перенос. Розглянемо цей процес більш детально. Поворот точки відносно початку координат:

$$(x', y') \rightarrow (x \cdot \cos(\varphi) - y \cdot \sin(\varphi), x \cdot \sin(\varphi) + y \cdot \cos(\varphi)). \tag{2}$$

Перенос точки:

$$(x', y') \rightarrow (x + m_x, y + m_y). \tag{3}$$

Для створення ефекту анімації нам потрібен ще один компонент, це напрям анімації. Напрямом анімації є вектор  $A(a, b)$ , відносно якого буде виконуватися поворот та перенесення точок [9]. Отже для того, щоб зробити початковий крок ефекту анімації, потрібно вирішити задачу повороту об'єкта навколо точки  $A(x_A, y_A)$ . Якщо застосувати формули перенесення та повороту точки, отримуємо матрицю перетворення:

$$(x', y', 1) \rightarrow (x, y, 1) \cdot \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ -x_A \cdot \cos(\varphi) + y_A \cdot \sin(\varphi) + x_A & -x_A \cdot \sin(\varphi) + y_A \cdot \cos(\varphi) + y_A & 1 \end{bmatrix}, \tag{4}$$

тоді кінцевий вираз для отримання нових координат буде [10]:

$$\begin{cases} x' = x_A + x \cdot \cos(\varphi) - x_A \cdot \cos(\varphi) - y \cdot \sin(\varphi) + y_A \cdot \sin(\varphi) \\ y' = y_A + y \cdot \cos(\varphi) - y_A \cdot \cos(\varphi) - x \cdot \sin(\varphi) + x_A \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \tag{5}$$

Однак, щоб створити анімований варіант об'єкта, потрібно, щоб його точки змінювали позицію за деякий проміжок часу і з визначеною швидкістю, тому координати точки в нас буде функцією від часу  $t$ :  $(x'(t), y'(t))$  та  $(x(t), y(t))$  відповідно, а отже, тоді формула перенесення точки на вектор буде:

$$\begin{cases} x'(t) = x_A + x(t) \cdot \cos(\varphi) - x_A \cdot \cos(\varphi) - y(t) \cdot \sin(\varphi) + y_A \cdot \sin(\varphi) \\ y'(t) = y_A + y(t) \cdot \cos(\varphi) - y_A \cdot \cos(\varphi) - x(t) \cdot \sin(\varphi) + x_A \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \tag{6}$$

Отже, тепер формула прийняла вигляд рівняння закону руху точки в координатній площині. Додамо тепер такі параметри, як швидкість руху точки  $v$ , прискорення буде сталим, щоб анімація була рівномірною. Для того, щоб отримати швидкість, потрібно знати, яку відстань пройде точка за визначений час. Відстань буде задана відрізком  $a$  на векторі анімації, довжина відрізка буде визначати відстань, яку має пройти точка під час ефекту анімації за час  $T$ . Тоді маємо рівняння швидкості для точки:

$$v = \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \quad (7)$$

Рух точки є рівномірним тому, щоб підрахувати позицію точки в заданий час  $t$ , отримуємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} x'(t) = x_{a_2} - x_{a_1} + x + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \cos(\varphi) - x_{a_2} - \\ - x_{a_1} \cdot \cos(\varphi) - y + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \sin(\varphi) + y_{a_2} - y_{a_1} \cdot \sin(\varphi) \\ y'(t) = y_{a_2} - y_{a_1} + y + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \cos(\varphi) - y_{a_2} - \\ - y_{a_1} \cdot \cos(\varphi) - x + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \sin(\varphi) + x_{a_2} - x_{a_1} \cdot \sin(\varphi) \end{array} \right. \quad (8)$$

### Оптимізація ємнісної та часової складності

Для зменшення часу виконання машинних розрахунків потрібно швидко розраховувати тригонометричні функції. Один із можливих варіантів це сумування ряду Тейлора по заданій похибці  $\varepsilon$ :

$$\sin(\varphi) = \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \cdot \frac{\varphi^{2i+1}}{(2i+1)!} \quad (9)$$

Знаючи  $\sin(\varphi)$  можемо знайти  $\cos(\varphi)$ :

$$\cos(\varphi) = \pm \sqrt{1 - \sin(\varphi)^2} \quad (10)$$

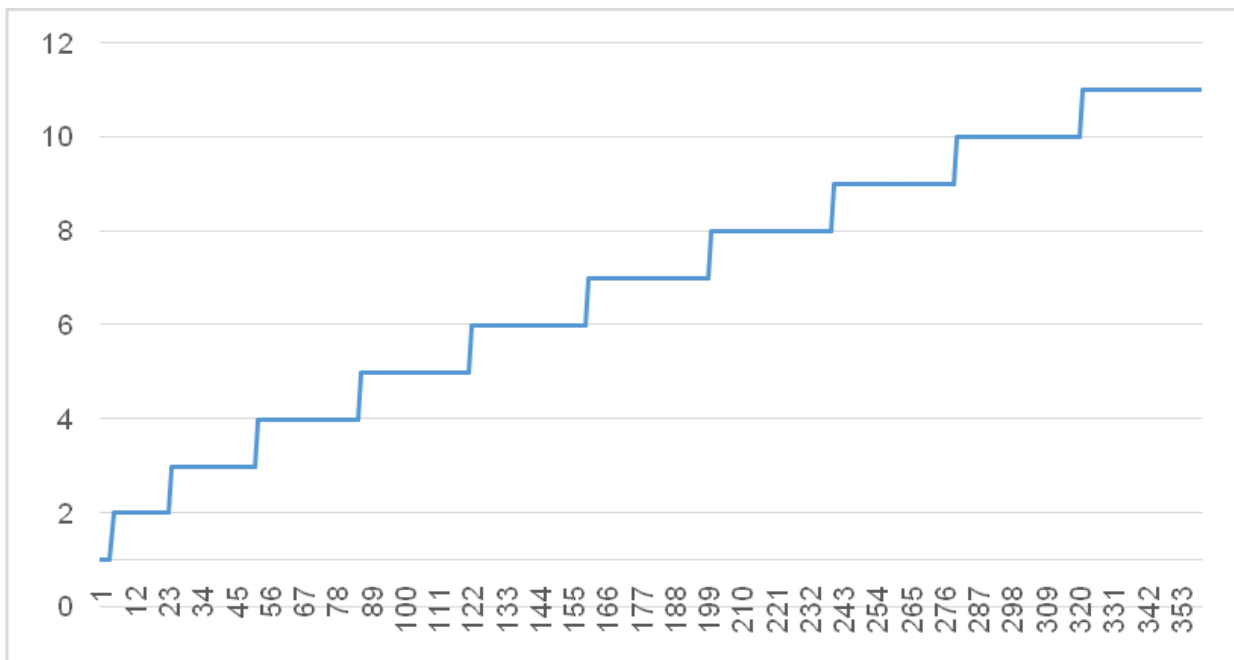


Рис. 1. Кількість ітерацій ряду Тейлора

Для розрахунку позиції точки нам буде достатньо точності  $\varepsilon = 0,0001$ , тепер можемо розрахувати кількість ітерацій для знаходження значення  $\sin(\varphi)$  (Рис. 1) [11].

Згідно отриманих результатів максимальна кількість ітерацій в нас буде 11, однак на відрізку  $[1^\circ, 90^\circ]$  максимальна кількість ітерацій 5. Тому застосувавши тригонометричні тотожності:

$$\begin{aligned} \sin(\varphi) &= \sin(180 - \varphi), \\ -\sin(\varphi) &= \sin(360 - \varphi), \end{aligned} \quad (11)$$

отримуємо максимальну кількість ітерацій 5 при розрахунку усіх кутів на відрізку  $[1^\circ, 360^\circ]$  (Рис. 2.).

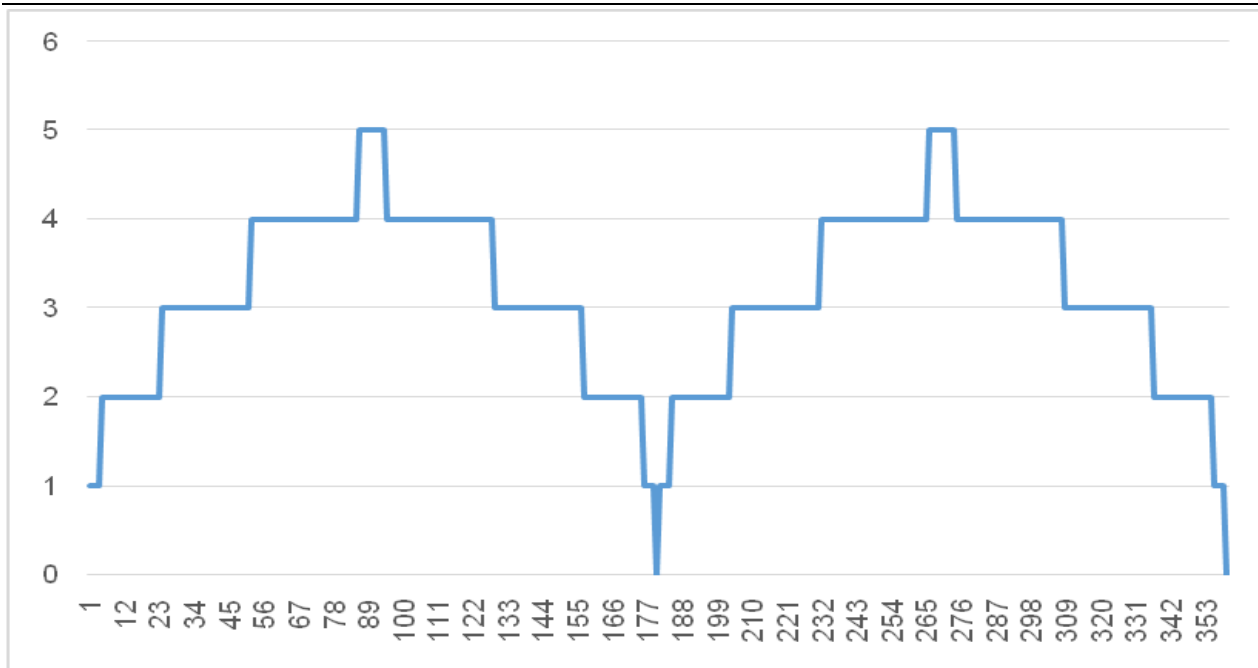


Рис. 2. Кількість ітерацій ряду Тейлора при застосуванні тригонометричних тотожностей

Підрахуємо кількість ітерацій для створення ефекту анімації для виділеного об'єкту розміром  $n$  пікселів. Для створення копії об'єкту на новій паралельній площині  $P$ , необхідно створити копії кожного пікселя з ідентичними координатами  $(x, y)$ . Для цього потрібно буде ітерацій  $N = n$ . Для визначення положення точки в момент часу  $t$  потрібно буде  $N + M$  ітерацій, де  $M = m$ , а  $m$  кількість ітерацій потрібних для розрахунку значення  $\sin(\varphi)$ . Отже, щоб розрахувати позиції точки на протязі часу  $T$ , з урахуванням того, що для плавного відтворення відео, потрібно створити 30 кадрів в секунду, тоді отримаємо потрібних ітерацій для створення кадрів відео  $K = 30 \cdot T$ . Отже формула для розрахунку складності  $S$  анімування одного об'єкту буде:

$$S = 30TNt_n + Mt_m, \tag{12}$$

де  $t_n$  - час на виконання одної ітерації обчислення позиції точки;

$t_m$  - час на виконання розрахунку одного члена ряду Тейлора.

Тоді для декількох об'єктів:

$$S = 30 \sum_{i=2}^o TN_i t_n + M_i t_m, \tag{13}$$

де  $K$  - кількість об'єктів.

### Висновки

Проведенні дослідження дозволили окреслити основні методуку за допомогою яких можливе створення ефекту анімації статичного об'єкту, а саме використання таких афінних перетворень, як поворот та перенос. Данні методи було обрано через їх властивість зберігати пропорції паралельних об'єктів, а саме довжину відрізків на паралельних прямих і площ на паралельних площинах, а також через той факт, що добуток двох афінних перетворень, теж є афінним, що дозволяє комбінувати данні методи для отримання потрібного ефекту анімації без зміни ознак об'єкта. Однак розглянуті методи є розрахунково складними, тому важливим є оптимізація роботи алгоритму. В роботі було окреслено один із складних етапів розрахунків в наведених методах - знаходження значень тригонометричних функцій. Вирішенням зазначеної проблеми є розкладання функцій в ряд Тейлора та розрахунок значень за заданою похибкою та використання тригонометричних тотожностей, що дозволить не обчислювати значення сходження ряду, коли потрібно робити більшу кількість ітерацій алгоритму.

### Література

1. Y. Doroshenko, I. Z. Achour (2018). Algorithm for automatic loop parallelization for graphics processing units. Problems in programming, (1), 36-45.
2. Cao, H. Wu, Y. Weng, T. Shao, K. Zhou (2016). Real-time facial animation with image-based dynamic avatars. ACM Transactions on Graphics, 35(4).
3. MISHRA, Taniya; REICHENBACH, George Alexander; EL KALIOUBY, Rana. Avatar image animation using translation vectors. U.S. Patent No 10,628,985, 2020.
4. Neumann, F. Neumann, T. Friedrich (2017). Quasi-random Agents for Image Transition and Animation. arXiv preprint arXiv:1710.07421.

5. Lin, C. Y., Huang, Y. W., & Shih, T. K. (2019). Creating waterfall animation on a single image. *Multimedia Tools and Applications*, 78(6), 6637-6653.
6. S. Ye, R. Ohtera. Japanese Animation Style Transfer Using Deep Neural Networks. In 2017 International Conference on Information, Communication and Engineering (ICICE). 2017. №17. P. 492-495.
7. Шамуратов, О. Ю., & Шаховська, Н. Б. (2019). Алгоритми контурного аналізу зображень. *Науковий вісник НЛТУ України*, (29, № 6), 123-127.
8. Каган В.Ф. Основы теории поверхностей в тензорном изложении. Москва : Рипол-классик, 2013. 518 с.
9. OpenGL Transformation : веб-сайт. URL: [http://www.songho.ca/opengl/gl\\_transform.html](http://www.songho.ca/opengl/gl_transform.html) (дата звернення: 12.05.2020).
10. Д. Роджерс, Дж. Адамс. Математические основы машинной графики. Москва : Мир. 2001. 604 с.
11. Дронов В. Macromedia Flash Professional 8. Графика и анимация. Москва : БХВ-Петербург. 2013. 750 с.

#### References

1. Y. Doroshenko, I. Z. Achour (2018). Algorithm for automatic loop parallelization for graphics processing units. *Problems in programming*, (1), 36-45.
2. Cao, H. Wu, Y. Weng, T. Shao, K. Zhou (2016). Real-time facial animation with image-based dynamic avatars. *ACM Transactions on Graphics*, 35(4).
3. MISHRA, Taniya; REICHENBACH, George Alexander; EL KALIOUBY, Rana. Avatar image animation using translation vectors. U.S. Patent No 10,628,985, 2020.
4. Neumann, F. Neumann, T. Friedrich (2017). Quasi-random Agents for Image Transition and Animation. arXiv preprint arXiv:1710.07421.
5. Lin, C. Y., Huang, Y. W., & Shih, T. K. (2019). Creating waterfall animation on a single image. *Multimedia Tools and Applications*, 78(6), 6637-6653.
6. S. Ye, R. Ohtera. Japanese Animation Style Transfer Using Deep Neural Networks. In 2017 International Conference on Information, Communication and Engineering (ICICE). 2017. №17. P. 492-495.
7. Shamuratov, O. Yu., & Shaxovska, N. B. (2019). Alhorytmy konturnoho analizu zobrazhen". *Naukovyj visnyk NLTU Ukrayiny*, (29, № 6), 123-127.
8. Kahan V.F. Основы теории поверхностей в тензорном изложении. Москва : Рипол-классик, 2013. 518 с.
9. OpenGL Transformation : веб-сайт. URL: [http://www.songho.ca/opengl/gl\\_transform.html](http://www.songho.ca/opengl/gl_transform.html) (дата звернення: 12.05.2020).
10. Rodzhers, Dzh. Adams. Matematycheskiye osnovy mashynnoj grafyky. Moskva : Myr. 2001. 604 s.
11. Dronov V. Macromedia Flash Professional 8. Grafyka y anymacyya. Moskva : BXV-Peterburh. 2013. 750 c.

Рецензія/Peer review : 20.02.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

В. ЯКОВИНА, Н. ШАХОВСЬКА, Я. МАТВІЙЧУК, Є. ЗАСОБА  
Національний університет «Львівська політехніка»

## РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КАРТ КОХОНЕНА ТА ІЄРАРХІЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

У роботі розроблено вдосконалений алгоритм прогнозування дефектів програмного забезпечення на основі поєднання карти Кохонена та ієрархічної кластеризації. Раніше для побудови моделей прогнозування дефектів програмного забезпечення використовувались різні методи класифікації, починаючи від простих, таких як логістична регресія, і закінчуючи сучасними методами, наприклад багатовимірне адаптивне зрощення регресії. Однак наявна література все ще не дозволяє зробити однозначний висновок щодо вибору найкращого класифікатора та спроб різних вимірів для подолання потенційних упереджень пропонується. Метою статті є аналіз метрик програмного коду для виявлення залежностей між схильністю до дефектів програмного модуля та його метриками. У цьому дослідженні було використано JM1 загальнодоступний набір даних NASA з PROMISE Software Engin-Reering Repository.

Ключові слова: аналіз дефектів програмного забезпечення, прогнозування, ієрархічна кластеризація, карти Кохонена.

V. YAKOVYNA, N. SHAKHOVSKA, Ya. MATVIYCHUK, Ye. ZASOBA  
Lviv Polytechnic National University

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE DEFECT PREDICTION ALGORITHM BASED ON KOHONEN MAPS AND HIERARCHICAL CLUSTERING

In this work, an improved software defect prediction algorithm based on a combination of the Kohonen map and hierarchical clustering was developed. The algorithm uses a gradually decreasing learning rate to fine-tune a new era. As a result, the center is set in a position that satisfactorily clusters the examples for which the neuron is the winner. The property of topological ordering is achieved in the algorithm using the concept of neighborhood. Neighborhood is the result of agglomerative hierarchical clustering. The proposed algorithm shows higher accuracy than other classification algorithms. Pre-processing allows us to improve the quality of analysis by dividing all data into two clusters. This study used a public dataset from the PROMISE software engineering repository. The JM1 dataset for software defect prediction is selected. The source of this dataset is NASA Metrics Data Program.

Previously, various classification methods were used to build software defect prediction models, from simple ones, such as logistic regression, to modern methods, such as multidimensional adaptive regression splicing. However, the available literature still does not allow to make an unambiguous conclusion about the choice of the best classifier and attempts of different dimensions to overcome potential biases are offered. The aim of the article is to analyze the metrics of the program code to identify the relationships between the susceptibility to defects of the software module and its metrics.

The task of classification is to assign an object to one of the predefined classes based on its formalized characteristics. Each of the classified objects is represented as an N-dimensional vector, each dimension of which corresponds to one of the features of the object. The binary classification model should evaluate the impact of each parameter or group of parameters on the classification of defects. The analysis process consists of two phases. In the first phase, all parameters were considered. In the second phase, the influence of each parameter was studied.

We use an ensemble of models - the Kohonen map and hierarchical clustering. The heat map shows the weight of attributes and their grouping, as well as clusters data. The Kohonen map uses unattended learning, and the learning set consists only of the values of the input variables. Kohonen's map is studied by successive approximation. Starting with a randomly selected initial location of the centers, the algorithm is gradually improved to collect training data. Kohonen's basic iterative algorithm successively goes through a number of epochs; one case study is processed for each epoch. The input signals are fed sequentially to the network. The desired output signals are not determined. After processing a sufficient number of input vectors, the synaptic weights of the network are determined by clusters. In addition, the scales are organized in such a way that topologically close nodes are sensitive to such input signals.

Keywords: software defects analysis, prediction, hierarchical clustering, Kohonen maps.

### Вступ

Автоматизовані системи керують різноманітними технічними пристроями, що виконують функції, які мають важливе значення для безпеки, починаючи від електростанцій і закінчуючи автономними транспортними засобами, що контролюються за допомогою штучного інтелекту (ШІ). Невід'ємною частиною всіх цих систем є програмне забезпечення, яке або виконує функцію управління, або реалізує алгоритми штучного інтелекту. Вартість відмови працездатності такого програмного забезпечення дуже висока, це може призвести до подій різного ступеня тяжкості, починаючи від економічних збитків до завдання шкоди життю та здоров'ю людей. Отже, із збільшенням відповідальності функціонування комп'ютерних систем вимоги до їх надійності та безпеки значно зростають. Щоб задовольнити ці вимоги, є дві основні проблеми: оцінка надійності складних технічних систем та проектування таких систем із заданим рівнем надійності та безпеки. Однак оцінки надійності лише апаратного компонента таких систем недостатньо, як це було зроблено раніше для суто апаратних електронних систем. Програмне забезпечення стало важливою частиною пристроїв та систем. Напевно, немає іншого створеного людиною матеріалу, який би був всепоширенішим, ніж програмне забезпечення, у нашому сучасному суспільстві [1]. Отже, потреба в оцінці та аналізі надійності програмного забезпечення сьогодні стає все більш актуальною.

З іншого боку, вартість виправлення помилок швидко зростає на пізніх стадіях життєвого циклу програмного забезпечення, що викликає інтерес до моделей передбачення надійності програмного забезпечення, які мають високу прогнозовану силу. Одним із підходів до побудови таких моделей є використання технологій штучного інтелекту. Методи та моделі ШІ стають перспективним інструментом прогнозування надійності програмного забезпечення протягом останнього десятиліття. Таким чином, ця стаття присвячена пошуку закономірностей та прогнозуванню дефектів програмних модулів за допомогою техніки машинного навчання.

#### Аналіз літературних джерел

Моделі надійності програмного забезпечення можна розділити на два широкі класи - детерміновані (статичні) та ймовірнісні (динамічні) [2]. Ймовірнісні моделі представляють випадки виникнення дефектів та виправлення помилок як випадкові події. Детерміновані моделі використовують результати аналізу вихідного коду програми як вхідні дані і не включають жодних випадкових подій або значень. Детермінований клас включає модель Голстеда [3], модель цикломатичної складності Мак-Кейба [4] та метричну модель складності [5]

Загалом, ці моделі представляють кількісний підхід до вимірювання комп'ютерного програмного забезпечення. Модель Холстеда використовується для оцінки кількості дефектів програми [2], тоді як модель цикломатичної складності Маккейба використовується для визначення верхньої межі тестів програми [6]. Обидві моделі мають статичний характер, тобто вважають процеси в програмній системі незмінними з плином часу, а її надійність є виключно функцією програмних показників. Суттєво іншим підходом до вирішення проблем сучасного етапу теорії надійності програмного забезпечення є теорія динаміки програмних систем [7]. Теорія динаміки програмних систем відрізняється від існуючої теорії надійності програмного забезпечення тим, що вона базується на загальній теорії системної динаміки, а не на теорії ймовірностей, і розглядає збої програмного забезпечення не як випадковий процес, а як результат впливу визначених потоків дефектів. Отже, ця теорія також породжує детерміновані моделі надійності програмного забезпечення, які, проте, не є статичними, на відміну від моделей Халстеда та Маккейба.

Зростання емпіричних технологій програмної інженерії призвів до збільшення інтересів до алгоритмів прогнозування помилок [8]. Ці алгоритми передбачають області програмних проєктів, які, ймовірно, схильні до помилок: області, де спостерігається висока частота появи помилок. Загальний підхід статистичний: алгоритми прогнозування помилок базуються на аспектах того, як розроблявся код, та різних метриках, які демонструє код, а не на традиційних підходах статичного або динамічного аналізу. Однією із загальноприйятих стратегій є використання метрик коду [9], тоді як інша зосереджена на вилученні функцій з історії змін вихідного файлу, спираючись на інтуїцію, згідно з якою помилки скупчуються навколо складних фрагментів коду [10, 11]. Іншим важливим фактором, який впливає на надійність програмного забезпечення, є механізм проєктування, який має значний вплив на загальну якість програмного забезпечення. Для забезпечення кращої надійності необхідна добре розроблена внутрішня структура програмного забезпечення. У літературі описано лише кілька підходів, які стосуються цього питання. Один з них [12] вивчає вплив проєктних метрик на один із зовнішніх факторів якості, надійність програмного забезпечення, використовуючи багатофакторний регресійний аналіз.

Чому деякі програмні модулі більш схильні до дефектів, ніж інші? Відповідь на це питання допомагає зрозуміти природу дефектів і допоможе уникнути дефектів у майбутньому. На жаль, зараз немає універсальної відповіді на це питання. Однак багато досліджень [8, 13], включаючи галузеві, були присвячені висвітленню цих властивостей проєкту [14]. Комплексне порівняльне дослідження Лессмана використовували класифікатори машинного навчання для прогнозування несправних модулів програмного забезпечення [15, 16]. У роботі [9] було обговорено деякі властивості проєкту (інваріанти в їх історії), і було показано, що ймовірність дефекту якогось модуля залежить від його історії.

#### Розроблення алгоритму прогнозування алгоритму прогнозування дефектів програмного забезпечення

У цьому дослідженні було використано загальнодоступний набір даних зі сховища програмної інженерії PROMISE [17]. Вибрано набір даних JM1 щодо прогнозування дефектів програмного забезпечення. Джерелом цього набору даних є NASA та NASA Metrics Data Program. JM1 є прогнозованою системою реального часу, дані надходять від McCabe, а Halstead має екстрактори вихідного коду. Виміри Маккейба та Халстеда базуються на "модулі", де "модуль" є найменшою одиницею функціональності. Набір даних містить 10 885 записів (модулів), а також 21 метрику коду, що використовуються як функції. Серед усіх модулів, перелічених у наборі даних, 2 107 помічені як дефекти. Отже, ми вирішили проблему дисбалансу даних шляхом вибірки, випадковим чином вибравши підмножину, що містить 50/50 записів із повідомленнями про дефекти та без них. Всі розрахунки були зроблені за допомогою RStudio. Рандомізовані 90% набору даних використовувались як навчальний набір, а решта 10% - як набір для перевірки.

Метою є побудова моделі для класифікації дефектів програмного забезпечення. Завдання класифікації полягає у віднесенні об'єкта до одного із заздалегідь визначених класів на основі його формалізованих ознак. Кожен із класифікованих об'єктів представлений у вигляді N-мірного вектора, кожен вимір якого відповідає одній із особливостей об'єкта. Бінарна модель класифікації повинна оцінювати вплив параметра або групи параметрів на класифікацію дефектів. Процес аналізу складається з двох фаз. На першій фазі розглядали всі параметри. На другій фазі вивчався вплив кожного параметра.

Спочатку ми спробували використовувати традиційні методи класифікації, а саме: k найближчих сусідів (kNN), дерево рішень, логістичну регресію, SVM та класифікатор Наївого Байеса. Точність застосовуваних на цій фазі методів класифікації коливається від 77% для kNN до 81% у випадку логістичної регресії та SVM. Як бачимо, результати класифікації не дуже хороші для будь-якого із використовуваних методів.

Порівняння різних алгоритмів класифікації подано нижче:

Accuracy	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	NA's
CART	0.6753247	0.7272727	0.7532468	0.7469697	0.7662338	0.7922078	0
LDA	0.1666667	0.5178571	0.6666667	0.6465079	0.8000000	0.8571429	0
SVM	0.5000000	0.6666667	0.7142857	0.7326984	0.8000000	1.0000000	0
KNN	0.3333333	0.6166667	0.6666667	0.6634921	0.7142857	0.8333333	0
RF	0.3333333	0.6666667	0.7142857	0.7330159	0.8333333	1.0000000	0

Kappa	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	NA's
CART	0.2762566	0.3620724	0.4241878	0.41518671	0.4861107	0.5250000	0
LDA	-0.6666667	-0.2264706	0.0000000	0.05297494	0.2500000	0.6666667	0
SVM	-0.2857143	0.0000000	0.0000000	0.08151261	0.0000000	1.0000000	0
KNN	-0.5000000	-0.1875000	0.0000000	-0.08095238	0.0000000	0.0000000	0
RF	-0.5000000	0.0000000	0.0000000	0.20330322	0.5714286	1.0000000	0

Тому на наступному кроці ми намагалися зменшити розмір завдання, знаходячи найважливіші особливості. Так, з використанням алгоритму Boruta обрано 7 характеристик (Рис. 1).

Далі до обраних характеристик ми використовували ансамбль моделей - карту Кохонена та ієрархічну кластеризацію. Теплова карта показує вагу атрибутів та їх групування, а також кластеризує дані. Карта Кохонена використовує навчання без нагляду, а навчальний набір складається лише зі значень вхідних змінних. Карта Кохонена навчається шляхом послідовного наближення. Починаючи з випадково вибраного початкового розташування центрів, алгоритм поступово вдосконалюється для збору даних про навчання. Основний ітераційний алгоритм Кохонена послідовно проходить через ряд епох; для кожної епохи обробляється один навчальний приклад. Вхідні сигнали подаються послідовно в мережу. Бажані вихідні сигнали не визначаються. Після обробки достатньої кількості вхідних векторів синаптичні ваги мережі визначаються кластерами. Крім того, шкали організовані таким чином, що топологічно близькі вузли чутливі до подібних вхідних сигналів.

Для реалізації запропонованого алгоритму необхідно визначити ступінь сусідства нейронів (нейрон переможця). Для цього ми

використовували ієрархічну кластеризацію. Були виявлені деякі відхилення, і відповідні зразки були виключені з подальшого аналізу. Відстані  $d_j$  від вхідного сигналу до кожного нейрона  $j$  визначаються як:

$$d_j = \text{SUM}(x_i(t) \cdot w_{ij}(t))^2,$$

тут SUM - це сума для всіх  $j$ ;  $x_i(t)$  -  $i$ -й елемент вхідного сигналу в момент часу  $t$ ,  $w_{ij}(t)$  - вага зв'язку від  $i$ -го елемента вхідного сигналу до  $j$ -го нейрона в момент часу  $t$ .

Відкориговані значення ваги для нейрона  $j^*$  та всіх нейронів у його найближчому сусіді розраховуються як:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + r(t)(x_i(t) - w_{ij}(t)),$$

де  $r(t)$  - швидкість навчання, яка з часом зменшується (позитивна, менше одиниці).

Алгоритм використовує поступово зменшується темп навчання для точної настройки нової епохи. В результаті центр встановлюється в такому положенні, що задовільно кластеризує приклади, для яких даний нейрон є переможцем.

Властивість топологічного впорядкування досягається в алгоритмі за допомогою концепції сусідства. Околиці - це ряд нейронів, що оточують нейрон-переможця. Відповідно до швидкості тренувань, розмір району поступово зменшується, так що спочатку він охоплює досить велику кількість нейронів (можливо, цілу карту), на найновіших етапах він складається лише з виграшу. В алгоритмі навчання корекція застосовується не тільки до нейрону-виграшу, але й до всіх нейронів з його поточного сусідства.

Variable Importance

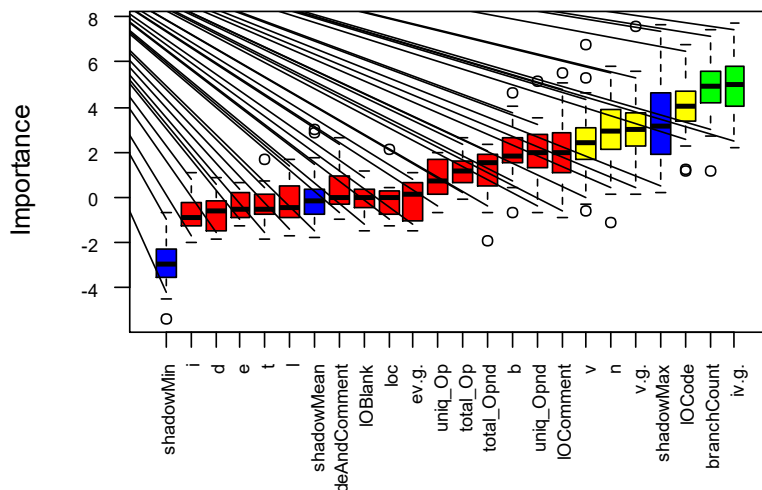


Рис 1. Обрані характеристики набору даних



Сусідство є результатом агломеративної ієрархічної кластеризації. Ідея агломеративних ієрархічних методів полягає в наступному. Спочатку кожен об'єкт розглядається як окремий кластер. Далі ідентифікуйте два найближчі кластери  $Q_i$  та  $Q_j$  та об'єднайте їх в один кластер  $Q_i + j$ . Процес злиття триває, поки всі об'єкти не утворюють єдиний кластер. Під час злиття слід обчислити відстань від нового кластеру  $Q_i + j$  до всіх інших кластерів. Ця відстань обчислюється за допомогою Лейнса-Вільямса:

$$d(Q_{s+j}, Q_m) = \alpha_i \cdot d(Q_i, Q_m) + \alpha_j \cdot d(Q_j, Q_m) + \beta \cdot d(Q_i, Q_j) + \gamma \cdot |d(Q_i, Q_m) - d(Q_j, Q_m)|,$$

де  $d(\bullet, \bullet)$  - міра відстані;  $Q_m$  ( $m \neq i, j$ ) - поточний кластер (сусідство для SOM);  $\alpha_i, \alpha_j, \beta, \gamma$  деякі числові параметри.

У результаті цієї зміни в районах, початкові досить великі ділянки мережі мігрують до тематичних досліджень. Мережа утворює грубу структуру топологічного порядку, в якій подібні приклади активують групи нейронів, які знаходяться близько на топологічній карті. З кожною новою епохою швидкість тренувань та розміри районів зменшуються, отже, все менше знаходяться відмінності всередині розділів карти, що в кінцевому підсумку призводить до більш тонкої настройки кожного нейрона. Часто навчання навмисно розбивається на дві фази: більш коротку, з вищою швидкістю навчання та більшими кварталами, і довшу з повільною швидкістю навчання та нульовими або майже нульовими сусідами.

У Таблиці 1 представлені результати класифікації, отримані з використанням описаного алгоритму.

### Висновки

У цій роботі було розроблено вдосконалений алгоритм прогнозування дефектів програмного забезпечення, заснований на поєднанні карти Кохонена та ієрархічної кластеризації. Алгоритм використовує поступово зменшується темп навчання для точної настройки нової епохи. В результаті центр встановлюється в такому положенні, що задовільно кластеризує приклади, для яких даний нейрон є переможцем. Властивість топологічного впорядкування досягається в алгоритмі за допомогою концепції сусідства. Сусідство є результатом агломеративної ієрархічної кластеризації. Запропонований алгоритм показує вищу точність, ніж інші алгоритми класифікації. Попередня обробка даних дозволяє нам підвищити якість аналізу, розділивши всі дані на два кластери.

Стаття доводить висновок Хаттона [18], що кількість рядків програмного коду, LOC - у нашому випадку вона відповідає PC1, є такою ж хорошою, як і будь-яка інша метрика. Однак наше дослідження показує, що показник LOC не може бути використаний як виключно ознака для класифікації програмного забезпечення з точки зору його схильності до дефектів. З іншого боку, наші результати підтверджують пропозицію Лі та ін. [15] спробувати різні виміри при виборі найкращого класифікатора, а саме. використовувати ансамбль метрик - як видно з результатів роботи, щонайменше 13 метрик коду необхідні для отримання близько 99% достовірності.

Подальші дослідження включатимуть зменшення набору функцій, щоб виявити лише найбільш актуальні. Таке скорочення слід проводити з урахуванням можливих відмінностей між мовами програмування, методологією розробки та іншими процесами програмної інженерії..

### Література

1. Michael Lyu. Software Reliability Engineering: A Roadmap. In Future of Software Engineering (FoSE'07), pages 153–170, Minneapolis, MN, USA, May 2007. IEEE
2. Hoang Pham. System software reliability. Springer-er-Verlag London Limited, 2006.
3. Maurice H. Halstead. Elements of Software Sci-ence. Elsevier North-Holland Publishing, New York, 1977
4. T.J. McCabe. A Complexity Measure. IEEE trans-action on Software Engineering, SE-2(4): 308–320, 1976
5. Ning Chen, Steven C. H. Hoi, Xiaokui Xiao. Soft-ware process evaluation: a machine learning framework with application to defect management process. Empirical Software Engineering, 19(6): 1531–1564, 2014
6. Cobra Rahmani, Azad H. Azadmanesh. Exploita-tion of Quantitative Approaches to Software Reliability. Survivable Networked Systems (CIST-9900) Report. University of Nebraska at Omaha, 2008
7. Dmitry Maevsky, Vyacheslav Kharchenko, Maryna Kolisnyk, Elena Maevskaya. Software re-liability models and assessment techniques review: Classification issues. In Proceedings of 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Ac-quisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2017), pages 894–899 (vol. 2), Bucharest, Romania, Sep-tember 2017. IEEE
8. Chris Lewis, Zhongpeng Lin, Caitlin Sadowski, Xiaoyan Zhu, Rong Ou, E. James Whitehead. Does Bug Prediction Support Human Developers? Find-ings from a Google Case Study. In Proceedings of the 35th International Conference on Software Engineering ICSE'13, pages 372–381, San Fran-cisco, CA, USA, September

2013. IEEE.

9. Nachiappan Nagappan, Thomas Ball, Andreas Zeller. Mining metrics to predict component fail-ures. In Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering ICSE 06, pages 452, Shanghai, China, May 2006. ACM
10. A. E. Hassan, R. C. Holt. The Top Ten List: Dy-namic Fault Prediction. In 21 IEEE Int. Conf. on Software Maintenance ICSM05, pages 263–272, Budapest, Hungary, September 2005. IEEE
11. Thomas J. Ostrand, Elaine J. Weyuker, Robert M. Bell. Predicting the location and number of faults in large software systems. IEEE Transactions on Software Engineering, 31(4): 340–355, 200
12. R. Selvarani, R. Bharathi. Early Detection of Soft-ware Reliability: A Design Analysis. In book: Strategic Engineering for Cloud Computing and Big Data Analytics, pp. 83–99. Springer, 2017
13. Foyzur Rahman, Daryl Posnett, Abram Hindle, Earl Barr, Premkumar Devanbu. BugCache for In-spections: Hit or Miss? In Proceedings of the 19th ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering and 13rd European Soft-ware Engineering Conference (ESEC/FSE'11), Szeged, Hungary, September 2011. ACM.
14. Thomas Zimmermann, Nachiappan Nagappan, Andreas Zeller. Predicting Bugs from History. In Tom Mens, Serge Demeyer (Ed.), Software Evolu-tion, Chapter 4, pages 69–88, Springer, March 2008
15. Libo Li, Stefan Lessmann, Bart Baesens. Evaluat-ing software defect prediction performance: an updated benchmarking study. arXiv preprint arXiv:1901.01726 [cs.SE], 2019
16. Stefan Lessmann, Bart Baesens, Christophe Mues, Swantje Pietsch. Benchmarking Classification Models for Software Defect Prediction: A Proposed Framework and Novel Findings. IEEE Transac-tions on Software Engineering, 34(4): 485–496, 2008
17. Sayyad Shirabad, J. and Menzies, T.J. (2005) The PROMISE Repository of Software Engineering Databases. School of Information Technology and Engineering, University of Ottawa, Canada. Avail-able: <http://promise.site.uottawa.ca/SERepository>
18. Les Hatton. Invited Talk: The Role of Empiricism in Improving the Reliability of Fu-ture Software. In Testing: Academic and Industrial Conference – Practice and Research Techniques (TAICPART), Windsor, UK, August 2008. IEEE

#### References

1. Michael Lyu. Software Reliability Engineering: A Roadmap. In Future of Software Engineering (FoSE'07), pages 153–170, Minneapolis, MN, USA, May 2007. IEEE
2. Hoang Pham. System software reliability. Spring-er-Verlag London Limited, 2006.
3. Maurice H. Halstead. Elements of Software Sci-ence. Elsevier North-Holland Publishing, New York, 1977
4. T.J. McCabe. A Complexity Measure. IEEE trans-action on Software Engineering, SE-2(4): 308–320, 1976
5. Ning Chen, Steven C. H. Hoi, Xiaokui Xiao. Soft-ware process evaluation: a machine learning framework with application to defect management process. Empirical Software Engineering, 19(6): 1531–1564, 2014
6. Cobra Rahmani, Azad H. Azadmanesh. Exploita-tion of Quantitative Approaches to Software Reli-ability. Survivable Networked Systems (CIST-9900) Report. University of Nebraska at Omaha, 2008
7. Dmitry Maevsky, Vyacheslav Kharchenko, Maryna Kolisnyk, Elena Maevskaia. Software re-liability models and assessment techniques review: Classification issues. In Proceedings of 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Ac-quisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2017), pages 894–899 (vol. 2), Bucharest, Romania, Sep-tember 2017. IEEE
8. Chris Lewis, Zhongpeng Lin, Caitlin Sadowski, Xiaoyan Zhu, Rong Ou, E. James Whitehead. Does Bug Prediction Support Human Developers? Find-ings from a Google Case Study. In Proceedings of the 35th International Conference on Software Engineering ICSE'13, pages 372–381, San Fran-cisco, CA, USA, September 2013. IEEE.
9. Nachiappan Nagappan, Thomas Ball, Andreas Zeller. Mining metrics to predict component fail-ures. In Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering ICSE 06, pages 452, Shanghai, China, May 2006. ACM
10. A. E. Hassan, R. C. Holt. The Top Ten List: Dy-namic Fault Prediction. In 21 IEEE Int. Conf. on Software Maintenance ICSM05, pages 263–272, Budapest, Hungary, September 2005. IEEE
11. Thomas J. Ostrand, Elaine J. Weyuker, Robert M. Bell. Predicting the location and number of faults in large software systems. IEEE Transactions on Software Engineering, 31(4): 340–355, 200
12. R. Selvarani, R. Bharathi. Early Detection of Soft-ware Reliability: A Design Analysis. In book: Stra-tegic Engineering for Cloud Computing and Big Data Analytics, pp. 83–99. Springer, 2017
13. Foyzur Rahman, Daryl Posnett, Abram Hindle, Earl Barr, Premkumar Devanbu. BugCache for In-spections: Hit or Miss? In Proceedings of the 19th ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering and 13rd European Soft-ware Engineering Conference (ESEC/FSE'11), Szeged, Hungary, September 2011. ACM.
14. Thomas Zimmermann, Nachiappan Nagappan, Andreas Zeller. Predicting Bugs from History. In Tom Mens, Serge Demeyer (Ed.), Software Evolu-tion, Chapter 4, pages 69–88, Springer, March 2008
15. Libo Li, Stefan Lessmann, Bart Baesens. Evaluat-ing software defect prediction performance: an updated benchmarking study. arXiv preprint arXiv:1901.01726 [cs.SE], 2019
16. Stefan Lessmann, Bart Baesens, Christophe Mues, Swantje Pietsch. Benchmarking Classification Models for Software Defect Prediction: A Proposed Framework and Novel Findings. IEEE Transac-tions on Software Engineering, 34(4): 485–496, 2008
17. Sayyad Shirabad, J. and Menzies, T.J. (2005) The PROMISE Repository of Software Engineering Databases. School of Information Technology and Engineering, University of Ottawa, Canada. Avail-able: <http://promise.site.uottawa.ca/SERepository>
18. Les Hatton. Invited Talk: The Role of Empiricism in Improving the Reliability of Fu-ture Software. In Testing: Academic and Industrial Conference – Practice and Research Techniques (TAICPART), Windsor, UK, August 2008. IEEE

Рецензія/Peer review : 09.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

**МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-293-1-83-85

УДК 621.317

**О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, А.Ю. САЗОНОВ, С.С. КОТЛЯР,  
Ю.В. КИРИЧУК, Н.М. НАЗАРЕНКО**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**І.Ю. ЧЕРЕПАНСЬКА**

Житомирський національний агроекологічний університет

**СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ КАМЕНЮ**

*У роботі викладено відомості щодо нового способу визначення якості обробки поверхні каменю, який належить до вимірювальної техніки і може бути використаний при операціях шліфування та полірування поверхні каменю різної природи.*

*Показано, що підвищується продуктивність технологічного процесу по визначенню якості обробки поверхні каменю, з'являється можливість дослідження якості обробки поверхні каменю без зупинки технологічного процесу абразивної обробки поверхні каменю і незалежність від чистоти та вологості вимірювальної поверхні.*

*Ключові слова: поверхня каменю, спосіб визначення якості поверхні каменю.*

**О.М. BEZVESILNA, A.U. SAZONOV, S.S. KOTLIAR, Y.V. KYRYCHUK, N.M. NAZARENKO**  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**I.U. CHEREPANSKA**

Zhytomyr National Agroecological University

**METHOD OF DETERMINING QUALITY OF STONE SURFACE TREATMENT**

*Ukraine is rich in deposits of granite, marble and other natural stones. Today it is extremely important to determine the quality of stone surface treatment by using the proposed new method, which belongs to the measuring technique and can be used in operations of grinding and polishing the stone surface of different nature.*

*The paper presents information on a new method for determining the quality of stone surface treatment, which belongs to the measuring technique and can be used in operations of grinding and polishing the stone surface of different nature.*

*This article aims to improve the method of determining the quality of stone surface treatment to ensure the technical result - increasing the productivity of the technological process and independence from the purity and humidity of the surface.*

*A method of determining the quality of stone surface treatment, which performs continuous measurement of changes in instantaneous values of current consumed by the drive of the main movement of the stone machine during stone surface treatment, they are filtered from noise and converted into digital form. Then determine the differences between the maximum and minimum instantaneous values of the current in the same area of the stone being processed. After that, the obtained differences are fed to the input of an artificial neural network, which determines the quality of stone surface treatment.*

*This increases the productivity of the technological process to determine the quality of stone surface treatment, it is possible to study the quality of stone surface treatment without stopping the technological process of abrasive stone surface treatment and regardless of the purity and humidity of the measuring surface.*

*Keywords: stone surface, method of determining stone surface quality.*

Україна багата покладами граніту, мармуру та інших природних каменів. Сьогодні надзвичайно актуальним є визначення якості обробки поверхні каменю шляхом використання запропонованого нового способу, який належить до вимірювальної техніки і може бути використаний при операціях шліфування та полірування поверхні каменю різної природи.

У статті обґрунтовано, що при застосуванні запропонованого нового способу підвищується продуктивність технологічного процесу по визначенню якості обробки поверхні каменю, з'являється можливість дослідження якості обробки поверхні каменю без зупинки технологічного процесу абразивної обробки поверхні каменю і в незалежності від чистоти та вологості вимірювальної поверхні.

Інформація може бути широко використана для вимірів якості поверхні каменю у багатьох галузях науки і техніки: у машинобудуванні, у приладобудуванні, у трикоординатних інформаційно-вимірювальних системах та ін. [5].

Відомими у даній галузі є метод [1,2,3] із використанням блискоміра. Однак, вказаний метод має суттєві недоліки:

- необхідність обов'язкової зупинки роботи каменеобробного верстата та здійснення підготовки заготовки каменю до вимірювань;
- висока залежність від таких параметрів, як вологість заготовки та її механічна чистота.

Подібні недоліки неприпустимі у наш час, коли вимоги до якості обробки каменю стали значно більш жорсткими.

**Мета роботи**

Запропонувати новий більш досконалий спосіб визначення якості обробки поверхні каменю. Розкрити суть цього способу.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Запропонований новий спосіб визначення якості обробки поверхні каменю стосується галузі вимірювальної техніки і може бути використаний при операціях шліфування та полірування.

Відомий описаний в літературі спосіб визначення якості обробки поверхні каменю із використанням блискоміра [1,2,3].

Він полягає в тому, що спочатку виконують калібрування блискоміра шляхом визначення параметрів відбитих променів від еталонних зразків із заданою шорсткістю. Поверхню каменю, що перевіряється, попередньо осушують і очищують. Встановлюють на неї блискомір, який випромінює світловий промінь на поверхню. Цей промінь відбивається від поверхні каменю та сприймається фотоприймачем. Результатом визначення якості обробки поверхні природного каменю є відношення показника відбиття променю від досліджуваної поверхні до показника відбиття променю від еталону в умовних одиницях [1,2,3].

При цьому суттєвим недоліком відомого способу є необхідність обов'язкової зупинки роботи каменеобробного верстата та здійснення підготовки заготовки каменю до вимірювань. Це значно знижує продуктивність технологічного процесу в цілому. Крім того, недоліком способу є його висока залежність від таких параметрів, як вологість заготовки та її механічна чистота.

У даній статті поставлено задачу вдосконалення способу визначення якості обробки поверхні каменю, щоб забезпечити технічний результат - підвищення продуктивності технологічного процесу і незалежності від чистоти та вологості поверхні.

Поставлена задача вирішується наступним шляхом. При реалізації способу визначення якості обробки поверхні природного каменю, при якому вимірюють параметри якості поверхні каменю за допомогою вимірювального обладнання, необхідно виконувати неперервне вимірювання зміни миттєвих значень сили струму.

Цей струм споживається приводом головного руху каменеобробного верстата під час обробки поверхні каменю. Він відфільтровується від завад і перетворюється у цифрову форму. Потім визначається різниця між максимальними та мінімальними миттєвими значеннями сили струму в одній і тій самій області каменю. Значення отриманої різниці подається на вхід штучної нейронної мережі, за допомогою якої визначається якість обробки поверхні каменю.

Інструмент каменеобробного верстата оброблює певну область каменю. При обробці приводом головного руху споживається струм. Величина амплітуди коливань та миттєве значення струму залежать від навантаження на валу приводу головного руху. Навантаження спричинене механічним опором з боку поверхні каменю, який є функцією від шорсткості. Результати вимірів підтверджують вказане.

Висока продуктивність нового способу досягається за рахунок проведення вимірювань у режимі реального часу без зупинки технологічного процесу абразивної обробки поверхні каменю. При цьому механічна чистота та вологість поверхні каменю не впливають на визначення якості обробки поверхні каменю. Таким чином, усуваються значні недоліки у процесі вимірювань.

Реалізація запропонованого нового способу визначення якості обробки поверхні каменю забезпечує наступні технічні результати:

- підвищується продуктивність технологічного процесу по визначенню якості обробки поверхні каменю;
- виникає можливість дослідження якості обробки поверхні каменю без зупинки технологічного процесу абразивної обробки поверхні каменю;
- забезпечується незалежність якості обробки поверхні каменю від чистоти та вологості вимірювальної поверхні;
- підвищується ефективність роботи персоналу.

На рис.1 представлено принцип передачі вимірюваних даних якості обробки поверхні каменю на вхід штучної нейронної мережі (ШНМ) для її оброблення і подальшого надання інформації про якість обробки поверхні каменю та стадію обробки.

Забезпечується неперервне вимірювання зміни миттєвих значень сили струму за допомогою засобів вимірювання сили струму. Контролюється струм, що споживається приводом головного руху каменеобробного верстата під час обробки поверхні каменю. Отримані дані по каналах зв'язку подають до фільтра, де відфільтровують від завад. За допомогою аналого-цифрового перетворювача перетворюють їх у цифрову форму. Далі визначають різниці між максимальними та мінімальними миттєвими значеннями сили струму в одній і тій самій області каменю, що обробляється. Після цього отримані різниці подають на вхід ШНМ, за допомогою якої визначають якість обробки поверхні каменю. ШНМ навчена працювати, наприклад, за способом "навчання з вчителем" [4]. Результати визначення якості обробки поверхні природного каменю досліджуваної поверхні представляються в умовних одиницях.

Тобто, стисло можна представити суть нового способу визначення якості обробки поверхні каменю наступним чином. Вимірюють параметри якості поверхні каменю за допомогою вимірювального обладнання. Виконують неперервне вимірювання зміни миттєвих значень сили струму споживання приводом головного руху каменеобробного верстата під час обробки поверхні каменю. Значення струму відфільтровують від завад і перетворюють у цифрову форму. Визначають різниці між максимальними та мінімальними миттєвими значеннями сили струму в одній і тій самій області каменю, що обробляється.

Отримані різниці подають на вхід штучної нейронної мережі, за допомогою якої визначають якість обробки поверхні каменю.

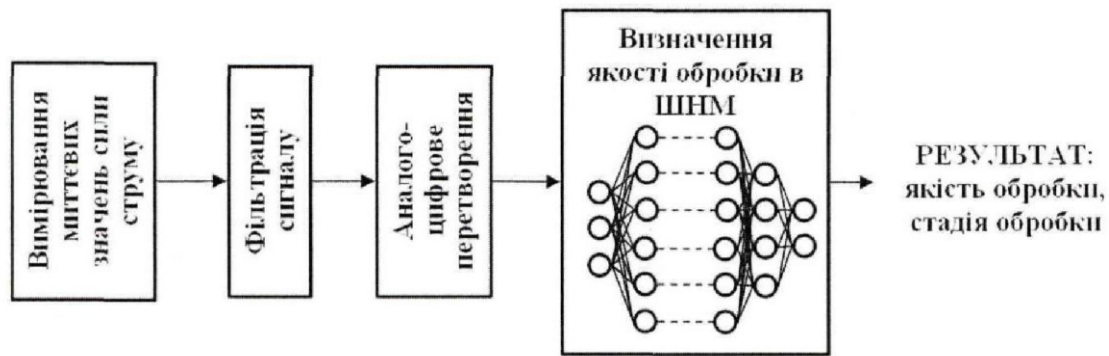


Рис. 1. Структурна схема забезпечення нового способу визначення якості обробки поверхні каменю [6]

### Висновки

1. Запропоновано новий спосіб визначення якості обробки поверхні каменю, який відрізняється від відомого способу з використанням блискоміра наявністю додаткового обладнання, використанням шинної нейронної мережі та нового алгоритму обробки вимірювальних сигналів;
2. Обґрунтовано доцільність використання нового способу визначення якості обробки поверхні каменю. Вказаний новий спосіб забезпечує:
  - підвищення продуктивності технологічного процесу по визначенню якості обробки поверхні каменю;
  - можливість дослідження якості обробки поверхні каменю без зупинки технологічного процесу абразивної обробки поверхні каменю;
  - незалежність якості обробки поверхні каменю від чистоти та вологості вимірювальної поверхні;
  - підвищення ефективності роботи персоналу.

### Література

1. Шамрай В.І. Управління декоративними властивостями гірських порід на основі фактурної обробки: дис.канд.техн.наук: 05.15.03 / В.І. Шамрай; Житомирський держ.технол.ун-т. – Житомир, 2017. – С. 34-37.
2. Шамрай В.І. Дослідження впливу шліфування-полірування природного каменю на його блиск та відтінки світлоти / В.І. Шамрай, В.В. Коробійчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. - № 5/5 (71). – С. 56-60.
3. Криворучко А.О. Дослідження впливу фактурної обробки на декоративність виробів з природного каменю / А.О. Криворучко, О.В. Камських, Г.М. Ломаков // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2011. – № 2 (57). – С. 141-145.
4. Безвесільна О.М. Штучні нейронні мережі при вирішенні задач технологічної підготовки гнучкого виробництва: монографія / Безвесільна О.М., Черепанська І.Ю., Сазонов А.Ю.– КПІ ім. Ігоря Сікорського ДП НВЦ «Пріоритети, 2018. – 192 с.
5. Безвесільна О.М. Перетворювачі фізичних величин. Технічні засоби автоматизації/ Підручник з грифом ЖДТУ.- НПО «Пріоритети»: К. 2019 – 809 с.
6. Патент на винахід № 121727; МПК: (2020.01) G01B 21/30 (2006.01), B28D 1/00, B24B 5/00. Заявка на винахід а2019 03838. Дата подання. 15.04.2019.

### References

1. Shamrai V.I. Management of decorative properties of rocks on the basis of textural processing: dis.kand.tekhn.nauk: 05.15.03 / V.I. Shamrai; Zhytomyr State Technological University - Zhytomyr, 2017. - P. 34-37.
2. Shamrai V.I. Investigation of the influence of grinding and polishing of natural stone on its luster and shades of light / V.I. Shamrai, W.W. Korobiychuk // Eastern European Journal of Advanced Technologies. - 2014. - № 5/5 (71). - P. 56-60.
3. Krivoruchko A.O. Investigation of the influence of textural processing on the decorativeness of natural stone products / A.O. Krivoruchko, O.B. Kamsky, G.M. Lomakov // Bulletin of ZhSTU. Technical sciences. - 2011. - № 2 (57). - P. 141-145.
4. Wedding O.M. Artificial neural networks in solving problems of technological training of flexible production: monograph / Bezvesilna O.M., Cherepanskaya I.Y., Sazonov A.Y. - KPI. Igor Sikorsky SE NVC "Priorities, 2018. - 192 p.
5. Wedding O.M. Converters of physical quantities. Technical means of automation / Textbook with the stamp of ZhSTU.- NGO "Priorities": K. 2019 - 809 p.
6. Patent for the invention № 121727; IPC: (2020.01) G01B 21/30 (2006.01), B28D 1/00, B24B 5/00. Application for the invention а2019 03838. Date of submission. 04/15/2019.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОГО МОМЕНТУ ОПОРУ ВЕДУЧОГО ВАЛУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ

Відомі різні типи галтувального обладнання, яке широко використовується у різних галузях промисловості України. Найбільш перспективним типом, на сьогоднішній день, вважають машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Виконано аналітичне дослідження статичного моменту опору, який виникає на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості в результаті впливу сили тяжіння, яка діє на рухомі ланки машини. У проекції на вертикальну площину визначені точки, що відповідають умовним центрам рівноваги машини, відносно яких слід визначати відповідні моменти сил, що будуть діяти на рухомі ланки. Статичний момент опору ведучого валу машини без урахування маси сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості, визначається як векторна сума моментів сил тяжіння відносно відповідного центру рівноваги. Встановлені кути повороту ведучого валу машини, що відповідають від'ємним та додатним значенням статичного моменту опору, а також положенню рівноваги, при якому статичний момент опору рівний нулю. Визначено положення рухомих ланок машини, при яких будуть виникати найбільші значення моменту опору на ведучому валу. Отримані математичні залежності за допомогою яких можна визначити статичний момент опору на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості без урахування маси завантаженого до робочої ємкості сипкого середовища. Результати досліджень можуть бути використані відповідними машинобудівними підприємствами на стадії проектування галтувальних типів обладнання з ємкостями, що виконують складний просторовий рух.

Ключові слова: момент опору, просторовий механізм, робоча ємкість, сила тяжіння, галтувальне обладнання.

M.G. ZALYUBOVSKYI

Open International University of Human Development "Ukraine"

## SYNTHESIS AND RESEARCH OF STATICALLY DETERMINED SPATIAL HINGED MECHANISM OF THE HOLDING MACHINE

There are different types of shredding equipment, which is widely used in various industries of Ukraine. The most promising type, today, is considered to be machines with complex spatial movement of working tanks. An analytical study of the static moment of resistance that occurs on the drive shaft of the machine with a complex spatial motion of the working capacity as a result of the influence of gravity acting on the moving parts of the machine. The projection on the vertical plane defines the points corresponding to the conditional centers of equilibrium of the machine, relative to which it is necessary to determine the corresponding moments of the forces that will act on the moving links. The static moment of resistance of the driving shaft of the machine without taking into account the mass of the bulk medium loaded into the working tank is defined as the vector sum of the moments of gravity relative to the corresponding center of equilibrium. The angles of rotation of the drive shaft of the machine, which correspond to the negative and positive values of the static moment of resistance, as well as the equilibrium position at which the static moment of resistance is zero. The position of the moving parts of the machine at which the largest values of the moment of resistance on a driving shaft will arise is defined. Mathematical dependences are obtained with the help of which it is possible to determine the static moment of resistance on the driving shaft of the machine with complex spatial motion of the working tank without taking into account the mass of the bulk medium loaded into the working tank. The research results can be used by the relevant machine-building enterprises at the stage of designing galvanizing types of equipment with tanks performing complex spatial motion.

Key words: moment of resistance, spatial mechanism, working capacity, gravity, galvanizing equipment.

**Постановка задачі.** На сьогоднішній день відомі різні типи галтувального обладнання [1], яке широко використовується у різних галузях промисловості України. До такого галтувального обладнання відносяться: машини з обертовими барабанами [2], вібраційні машини [3], шпindelльні, щіткові та роторні машини [4], а також машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Машини з обертовими барабанами, а також вібраційні машини вважаються застарілими типами обладнання. На обробку деталей у обертових барабанах може витратитися до 38 годин [5] технологічного часу, а величина припуску, яку можна зняти з поверхні деталі за допомогою них не перевищує 0,025 мм [6]. Такі типи обладнання поступово витісняють інші більш продуктивні та енергоєфективні машини. До таких конкурентних типів галтувального обладнання відносяться машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [7].

Відомі наукові роботи вітчизняних та іноземних вчених [8, 9], які займалися дослідженням конструктивних особливостей [10] такого обладнання, а також галтувальних технологічних процесів обробки деталей у ємкостях [11], які виконують складний просторовий рух. Однак, незважаючи на проведені дослідження, до теперішнього часу лишається ряд невирішених та недосліджених аспектів функціонування таких машин. Зокрема, для раціонального проектування приводів галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей, які забезпечують їх безвідмовну роботу при відповідних технологічних режимах, попередньо необхідно дослідити момент опору та потужність, яка буде споживатися на ведучому валу такої машини. Таким чином, однією з основних задач, що ставляться при проектуванні даного типу галтувального обладнання є комплексне дослідження його енергетичних параметрів.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Відомі [12] дослідження потужності, яка споживається на ведучому валу машин з обертовим рухом барабанів, а також вібраційних машин. У роботі [12] встановлено, що при обертанні барабану його вміст власною вагою створює момент опору, який перешкоджає його обертанню. Збільшення завантаженості барабану до 50% підвищує момент опору, однак заповнення барабану сипким технологічним середовищем більш ніж на 50% призводить вже до зниження моменту опору ведучого валу машини.

У роботі [13] отримані емпіричні вирази, які дають можливість розрахувати потужність відцентрових машин. Відомі дослідження [13] затрати енергії на змішування в планетарних та шнекових змішувачах. У роботі [101] наголошується на тому, що потужність, яка споживається машинами, котрі використовують для змішування сипких дрібнодисперсних речовин та технологічних процесів галтування, визначається як різниця потужності машини під навантаженням та потужності машини на холостому ході, при забезпеченні однакової кутової швидкості ведучого валу.

**Виділення невирішених частин.** Усі представлені вище наукові літературні джерела стосуються досліджень моменту опору та потужності, яка споживається на ведучому валу машин з обертовими барабанами, а також вібраційних машин. Однак, дані дослідження є непридатними для машини зі складним рухом робочих емкостей. Наприклад, якщо при роботі звичайних машин з обертальним рухом барабану виникає сталий момент опору, котрий не змінюється за один повний оберт барабану і визначається на основі відносно тривіальних формул, то при роботі машини зі складним рухом робочої емкості момент опору ведучого валу змінюватиметься декілька разів за один його повний оберт, при чому, навіть досягатиме від'ємних значень. Тобто, навпаки в деяких моментах допомагатиме обертати ведучий вал та робочу емкість. Саме тому, отримані вирази, які наведені у вищепредставлених літературних джерелах, можуть надати лише загальні уявлення та "точки опору" щодо формулювання окремої спеціальної теорії щодо визначення моменту опору та потужності, що споживається машиною зі складним рухом робочої емкості на її ведучому валу.

**Формулювання цілей.** Метою даної роботи є визначення статичного моменту опору на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої емкості, який створений масою рухомих ланок машини.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження статичного моменту опору на ведучому валу виконувалися частково із використанням експериментального стенду «базової» конструкції машини [14] зі складним просторовим рухом робочої емкості типу «Turbula» [15]. Модель «базової» конструкції машини представлена на рис. 1 (а), її кінематична схема – на рис. 2 (б), а фото експериментального стенду – на рис. 3 (в).

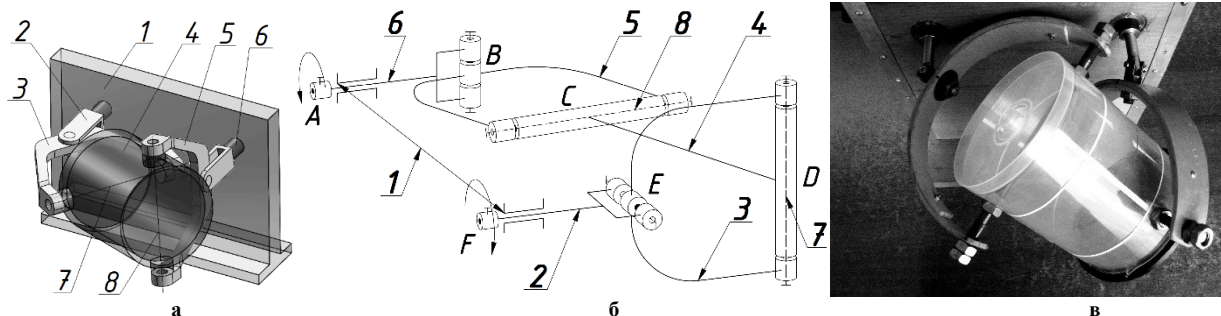


Рис. 1. «Базова» конструкція машини зі складним просторовим рухом робочої емкості:  
а – модель машини, б – кінематична схема, в – фото експериментального стенду

Машини містить станину 1, ведучий 2 та ведений 6 вали, встановлені в станині паралельно в одній площині та з'єднані між собою подвійним просторовим шарніром, що виконаний у вигляді ведучого шатуна 3, веденого шатуна 5 та робочої емкості 4 (проміжного шатуна), закріпленої між ведучим та веденим шатунами на діаметрально взаємно перпендикулярних геометричних осях 7 та 8 відповідно. Рухомі ланки машини утворюють собою просторовий шестиланковий механізм [16] з обертальними кінематичними парами [17].

З метою з'ясування поведінки робочої емкості машини з точки зору її рівноваги під дією сил тяжіння (без завантаження) було проведено попередній експеримент на стенді з періодичним відключенням приводу машини, а саме: ведучий вал, який жорстко з'єднаний з приводом, повертався за годинниковою стрілкою та зупинявся з кроком в кожні  $15^\circ$ . Після зупинки ведучого валу у чітко фіксованому положенні розмикався його жорсткий контакт з приводом і рухомі ланки машини разом з робочою емкістю під дією сил тяжіння рухалися вниз, обертаючи при цьому ведучий вал за чи проти годинникової стрілки на певний кут або ж залишалися нерухомими. Таким чином, можна було зробити висновок щодо того, яке значення крутного моменту виникало на ведучому валу. У випадках, коли ланки та вали залишалися нерухомими – конструкція машини була зрівноважена, момент опору був рівний нулю. Коли складові частини машини рухалися вниз та викликали обертання ведучого валу проти годинникової стрілки – момент опору був додатний. Момент опору був від'ємним (допоміжний момент) в тому випадку, коли складові частини машини рухалися вниз та викликали обертання ведучого валу за годинниковою стрілкою.

За початковий кут ведучого валу було прийнято таке положення машини, при якому ведучий шатун займав вертикальне положення. При роз'єднанні ведучого валу з приводом у положеннях, що відповідають його кутам повороту в  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $165^\circ$ ,  $180^\circ$  рухомі ланки під дією сили тяжіння створювали допоміжний момент, викликаючи обертання ведучого валу за годинниковою стрілкою, та переміщалися в одне з положень рівноваги, яким відповідають кути повороту в  $30^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $105^\circ$ ,  $150^\circ$ . При роз'єднанні ведучого валу з приводом у положеннях, що відповідають його кутам повороту в  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $135^\circ$  рухомі ланки під дією сили тяжіння створювали момент опору й так само переміщалися в одне з найближчих положень рівноваги, викликаючи обертання ведучого валу проти годинникової стрілки. Результати подальшого дослідження при повороті ведучого валу від  $180^\circ$  до  $360^\circ$  показали аналогічну ситуацію, що повністю відповідала повороту ведучого валу від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

Оскільки вектор сили тяжіння направлений вертикально вниз, а вісі обертання валів машини перпендикулярні до неї, то дію сил розглядали в проекції на вертикальну площину. Переміщення деталей механізму виникає під дією сили тяжіння, яка у проекції на вертикальну площину буде діяти на робочу ємкість, ведучий і ведений шатуни. Було умовно замінено дві кінематичні пари ведучого та веденого шатунів на одну, які позначено точками  $F$  та  $E$  відповідно, що будуть розташовані на середині міжосьових відстаней кріплення шатунів до робочої ємкості. В проекції на вертикальну площину точки  $F$  та  $E$  описують траєкторії кіл, обертальні кінематичні пари з'єднання валів з шатунами на даній проекції не фігурують. Центри обертання ведучого та веденого валів машини було позначено як  $O$  та  $Q$  відповідно. На рис. 2 (а) представлено таке положення машини, при якому конструкція зрівноважується, а момент опору рівний нулю, що представлено, а на рис. 2 (б) – положення рухомих ланок, при якому робоча ємкість проектується на вертикальну площину у натуральну величину.

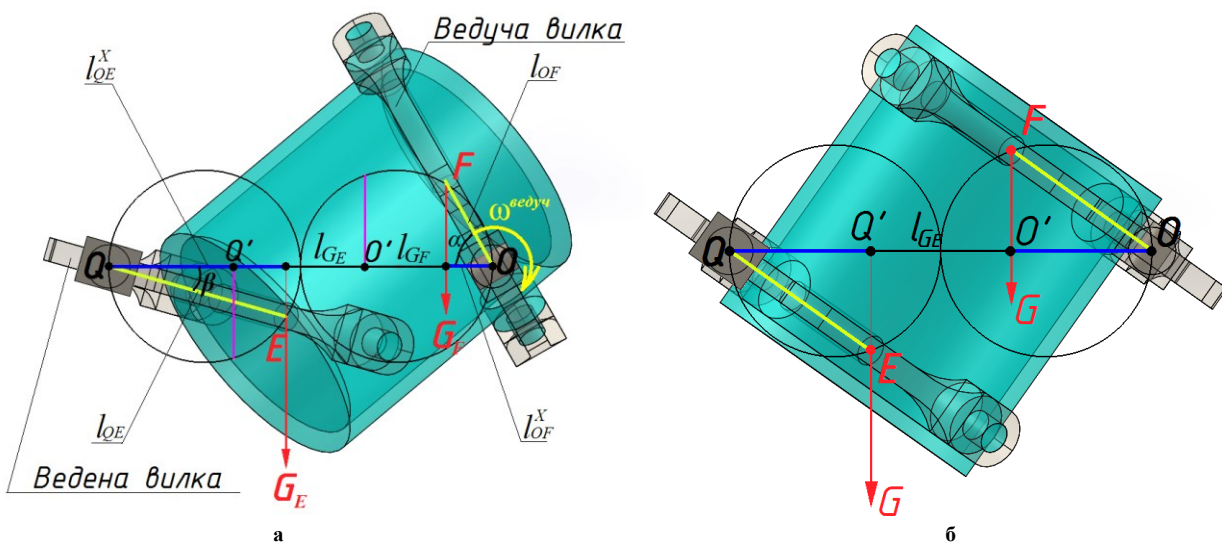


Рис. 2. Розрахункова схема машини для визначення моменту опору: а – у положенні, коли конструкція зрівноважена, б – у положенні, при якому робоча ємкість проектується на вертикальну площину у натуральну величину  
 $l_{OF}$  – проекція на вертикальну площину відстані від центру обертання ведучого шатуна  $O$  до точки  $F$ ;  $l_{QE}^x$  – проекція довжини  $l_{OF}$  на горизонтальну пряму;  $l_{QE}$  – проекція на вертикальну площину відстані від центру обертання веденого шатуна  $Q$  до точки  $E$ ;  $l_{QE}^x$  – проекція довжини  $l_{QE}$  на горизонтальну пряму;  $\alpha$  – кут між  $l_{QE}$  та  $l_{OF}$ ;  $\beta$  – кут між  $l_{QE}$  та  $l_{QE}^x$ ;

Вважатимемо, що сума сил тяжіння, котрі діють на всі рухомі ланки машини, буде умовно порівну розподілена та прикладена в точках  $F$  та  $E$ . Відповідно, сили тяжіння, які діятимуть у точках  $F$  та  $E$  визначатимуться як:

$$\overline{G}_F = m_F \overline{g}. \tag{1}$$

$$\overline{G}_E = m_E \overline{g}. \tag{2}$$

Маси  $m_F$  та  $m_E$  характеризуватимуть половину від сумарної маси усіх ланок машини, які виконують просторовий рух:

$$m_F = m_E = \frac{m_{PC} + m_{Ведуч.В} + m_{Веден.В}}{2}, \tag{3}$$

де  $m_{PC}$  – маса робочої ємкості;  $m_{Ведуч.В}$  – маса ведучого шатуна;  $m_{Веден.В}$  – маса веденого шатуна;

Розділивши пряму  $QO$  (рис. 2) на три однакові відрізки утворюється точки  $Q'$  та  $O'$ . Ці точки будуть відповідати умовним центрам рівноваги машини, відносно яких можна визначати відповідні моменти сил, що будуть діяти на рухомі ланки. Таким чином, при положенні рухомих ланок, яке представлено на рис. 2 (а) переміщення ланок відсутнє за рахунок того, що утворюються однакові плечі  $l_{GF}$  та  $l_{GE}$  відповідних сил тяжіння до центру рівноваги  $O'$ , як наслідок, два моменти сил тяжіння відносно центру рівноваги  $O'$  взаємокомпенсуються та не дають можливості зрушити рухомі ланки у будь-якому напрямі. Центр рівноваги  $O'$  при такому положенні робочої ємкості буде знаходитися на середині горизонтальної лінії, яка



сполучає вектори сил тяжіння, що відповідає куту повороту ведучого валу в  $30^\circ$  та  $150^\circ$ . А отже, при таких положеннях машини:

$$\overline{M}_{G_F}^{O'} = \overline{M}_{G_E}^{O'}; \quad (4)$$

$$m_F \overline{gl}_{G_F} = m_E \overline{gl}_{G_E}. \quad (5)$$

Рівняння (4) буде також справедливим для такого положення рухомих ланок (кут повороту ведучого валу  $75^\circ$  та  $105^\circ$ ), при якому моменти сил тяжіння визначатимуться відносно центру рівноваги  $Q'$ .

З усього вищесказаного можна зробити висновок, що статичний момент опору  $M_{оп}$  ведучого валу машини без урахування маси сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості, визначається як векторна сума моментів сил тяжіння  $M_{G_F}^{O(Q')}$  та  $M_{G_E}^{O(Q')}$  відносно відповідного центру рівноваги:

$$\overline{M}_{оп} = \sum \overline{M}_{G_i}^{O(Q')}. \quad (6)$$

Момент опору з від'ємним значенням буде означать, що на ведучому валу виникає допоміжний момент. Також для визначення моментів сил тяжіння, прикладених в точках  $F$  та  $E$  відносно центру рівноваги  $O'$  можна сформулювати таке правило: якщо при положенні рухомих ланок машини перпендикуляр опущений з точки  $F$  на міжосьову лінію  $l_{QO}$  опиниться на проміжку  $l_{OO'}$ , то момент сил створений силою тяжіння  $G_F$  визначатиметься відносно центру рівноваги  $O'$  та буде допоміжним, матиме знак «-». Та навпаки, якщо перпендикуляр, опущений з точки  $F$  на міжосьову лінію  $l_{QO}$ , опиниться на проміжку  $l_{QO'}$ , то крутний момент визначатиметься відносно центру рівноваги  $Q'$ , і він буде розглядатися як той, що чинить опір обертанню ведучого валу та матиме знак «+». Аналогічно визначатиметься момент сили тяжіння прикладений в точці  $E$  відносно відповідних центрів рівноваги. Іншими словами, моменти сил тяжіння, прикладені в точках  $F$  та  $E$  визначаються відносно того центру рівноваги  $Q'$  чи  $O'$ , який буде розташований між проекціями точок  $F$  та  $E$  на міжосьову лінію  $l_{QO}$ . Рівняння моментів сил тяжіння, прикладених в точках  $F$  та  $E$  відносно центру рівноваги  $O'$  матимуть вигляд:

$$\overline{M}_{G_F}^{O'} = -\overline{G}_F l_{G_F}. \quad (7)$$

$$\overline{M}_{G_E}^{O'} = \overline{G}_E l_{G_E}. \quad (8)$$

Рівняння моментів сил тяжіння, прикладених в точках  $F$  та  $E$  відносно центру рівноваги  $Q'$  матимуть вигляд:

$$\overline{M}_{G_F}^{Q'} = \overline{G}_F l_{G_F}. \quad (9)$$

$$\overline{M}_{G_E}^{Q'} = -\overline{G}_E l_{G_E}. \quad (10)$$

З урахуванням виразів (7) – (10) запишемо рівняння для визначення моменту опору на ведучому валу при тих положеннях рухомих ланок, коли проекція точки  $F$  на міжосьову відстань  $l_{QO}$  знаходиться на проміжку  $[O'O]$ , а проекція точки  $E$  на міжосьову відстань  $l_{QO}$  буде знаходитися на проміжку  $[Q'O']$ :

$$\overline{M}_{оп} = \overline{G}_E l_{G_E} - \overline{G}_F l_{G_F}. \quad (11)$$

Аналогічно до (11) запишемо рівняння для визначення моменту опору ведучого валу при тих положеннях робочої ємкості, коли проекція точки  $F$  на міжосьову відстань  $l_{QO}$  знаходиться на проміжку  $[Q'O']$ , а проекція точки  $E$  на міжосьову відстань  $l_{QO}$  буде знаходитися на проміжку  $[OO']$ :

$$\overline{M}_{оп} = \overline{G}_F l_{G_F} - \overline{G}_E l_{G_E}. \quad (12)$$

Далі необхідно записати вирази для визначення плечей  $l_{G_F}$  та  $l_{G_E}$ . Для цього було проведено додаткове дослідження в САПР SolidWorks, на основі якого побудовано графік залежності довжин  $l_{OF}^X$  та  $l_{QE}^X$  від кута повороту ведучого валу  $\varphi$ . Графік залежності представлений на рис. 3. За кут повороту ведучого валу рівного нулю градусів прийнято таке положення рухомих ланок, при якому вісь кріплення ведучого шатуна з робочою ємкістю займатиме вертикальне положення.

Проаналізувавши графік представлений на рис. 3, можна стверджувати, що точки  $F$  та  $E$  за один повний оберт ведучого валу двічі опишуть власні траєкторії кіл. У випадках, коли одна з точок  $F$  чи  $E$  буде знаходитися на міжосьовій лінії  $l_{QO}$ , утворюватиметься найбільша відстань між цією точкою та центром обертання відповідного валу, яка рівна половині міжосьової відстані  $l_{QO}$ :

$$l_{QE}^{X \max} = l_{OF}^{X \max} = 0,5 l_{QO}. \quad (13)$$

Запишемо залежність довжини  $l_{OF}^X$  від кута повороту ведучого валу машини  $\varphi$ :

$$l_{OF}^X = 0,25 l_{QO} - 0,25 l_{QO} \cos 2\varphi. \quad (14)$$

З графіку, представленого на рис. 3 видно, що дійсна крива (синього кольору), котра характеризує зміну значення довжини  $l_{QE}^X$  мінімально відрізняється від гармонічного закону (червона пунктирна крива), а отже, запишемо залежність довжини  $l_{QE}^X$  від кута повороту ведучого валу машини  $\varphi$ :

$$l_{QE}^X = |0,5 l_{QO} \cos \varphi|. \quad (15)$$

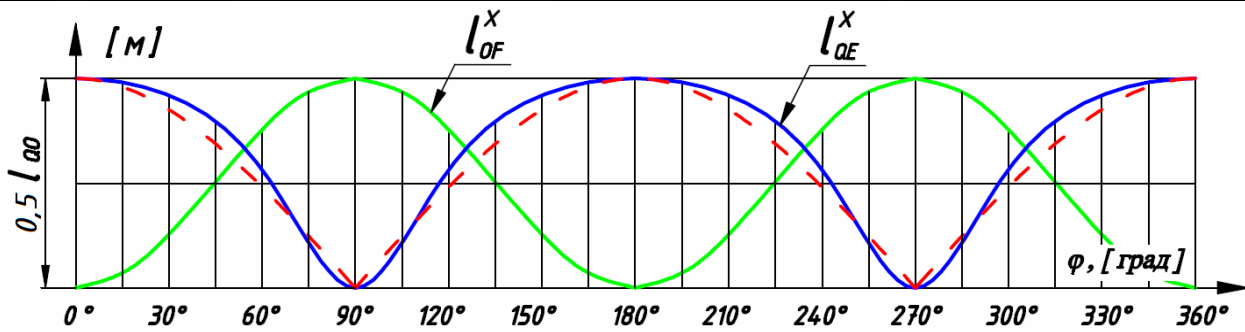


Рис. 3. Залежність довжин  $l_{OF}^X$  та  $l_{QE}^X$  від кута повороту ведучого валу  $\varphi$

Далі розглянемо рис. 2 (б), на якому представлено робочу ємкість машини, яка проектується на вертикальну площину в натуральну величину. Саме в такому положенні проекції з точок  $F$  та  $E$ , опущені на міжосьову відстань  $l_{QO}$ , співпадатимуть з центрами рівноваги машини  $O'$  та  $Q'$  відповідно. В результаті чого міжосьову відстань  $l_{QO}$  можна умовно розділити на три рівні частини за двома центрами рівноваги:

$$l_{QO'} = l_{Q'O'} = l_{O'O} = \frac{1}{3} l_{QO}. \quad (16)$$

Саме при таких положеннях рухомих ланок машини, що відповідають кутам повороту ведучого валу  $\varphi = 54^\circ; 126^\circ; 234^\circ; 306^\circ$  буде виникати найбільше значення моменту опору на ведучому валу машини за рахунок того, що утворюватиметься максимальна довжина плеча сили тяжіння прикладеної у точці  $F$  чи  $E$ , момент якої буде додатнім, а довжина плеча сили тяжіння прикладеної у точці  $F$  чи  $E$ , момент якої від'ємний, буде рівний нулю. Момент опору при таких положеннях рухомих ланок можна визначити як:

$$\bar{M}_{оп} = \frac{1}{3} \bar{G}_E l_{QO} = \frac{1}{3} \bar{G}_F l_{QO} = \frac{1}{3} m_E \bar{g} l_{QO} = \frac{1}{3} m_F \bar{g} l_{QO}. \quad (17)$$

Опираючись на виведені рівняння (14), (15) та приймаючи до уваги формулу (16), запишемо вирази для визначення плечей  $l_{GF}$  та  $l_{GE}$ . У тому випадку, якщо проекція точки  $F$  на міжосьову відстань буде знаходитися праворуч від центру рівноваги  $O'$ , то  $l_{GF}$  визначатиметься як:

$$l_{GF} = \frac{1}{3} l_{QO} - l_{OF}^X. \quad (18)$$

А з урахуванням рівняння (14) вираз (18) буде мати вигляд:

$$l_{GF} = \frac{1}{3} l_{QO} - 0,25 l_{QO} + 0,25 l_{QO} \cos 2\varphi. \quad (19)$$

У тому випадку, якщо проекція точки  $F$  на міжосьову відстань буде знаходитися ліворуч від центру рівноваги  $O'$ , то  $l_{GF}$  визначатиметься наступним чином:

$$l_{GF} = \frac{2}{3} l_{QO} - l_{OF}^X. \quad (20)$$

З урахуванням рівняння (14) вираз (20) матиме вигляд:

$$l_{GF} = \frac{2}{3} l_{QO} - 0,25 l_{QO} + 0,25 l_{QO} \cos 2\varphi. \quad (21)$$

Запишемо вираз для визначення плеча  $l_{GE}$  в тому випадку, якщо проекція точки  $E$  на міжосьову відстань знаходитиметься праворуч від центру рівноваги  $Q'$ :

$$l_{GE} = \frac{2}{3} l_{QO} - l_{QE}^X. \quad (22)$$

А з урахуванням рівняння (15) вираз (22) матиме вигляд:

$$l_{GE} = \frac{2}{3} l_{QO} - |0,5 l_{QO} \cos \varphi|. \quad (23)$$

Запишемо вираз для визначення плеча  $l_{GE}$  у тому випадку, якщо проекція точки  $E$  на міжосьову відстань знаходитиметься ліворуч від центру рівноваги  $Q'$ :

$$l_{GE} = \frac{1}{3} l_{QO} - l_{QE}^X. \quad (24)$$

З урахуванням рівняння (15) вираз (24) матиме вигляд:

$$l_{GE} = \frac{1}{3} l_{QO} - |0,5 l_{QO} \cos \varphi|. \quad (25)$$

Запишемо рівняння (11), з урахуванням виразів (23), (19):

$$\bar{M}_{оп} = \bar{G}_E \left( \frac{2}{3} l_{QO} - |0,5 l_{QO} \cos \varphi| \right) - \bar{G}_F \left( \frac{1}{3} l_{QO} - (0,25 l_{QO} - 0,25 l_{QO} \cos 2\varphi) \right). \quad (26)$$

Плечі моментів сил в такому випадку визначатимуться відносно центру рівноваги  $O'$ . Враховуючи положення рухомих ланок машини, що відповідає куту повороту ведучого валу в  $0^\circ$ , таке рівняння буде актуальним для таких кутів повороту ведучого валу машини:  $\varphi = (306^\circ - 54^\circ)$  та  $\varphi = (126^\circ - 234^\circ)$ .

Запишемо рівняння (12), з урахуванням виразів (21), (25):

$$\bar{M}_{оп} = \bar{G}_F \left( \frac{2}{3} l_{QO} - (0,25l_{QO} - 0,25l_{QO} \cos 2\varphi) \right) - \bar{G}_E \left( \frac{1}{3} l_{QO} - |0,5l_{QO} \cos \varphi| \right). \quad (27)$$

Плечі моментів сил в такому випадку визначатимуться відносно центру рівноваги  $Q'$ . Таке рівняння актуальне при кутах повороту ведучого валу машини:  $\varphi = (54^\circ - 126^\circ)$  та  $\varphi = (234^\circ - 306^\circ)$ .

Таким чином, отримано 3 рівняння (17), (26) та (27) за допомогою яких можна визначити статичний момент опору на ведучому валу машини без урахування маси завантаженого до робочої ємкості сипкого середовища.

Із використанням розрахунків за рівняннями (17), (26) та (27) побудовано криву зміни статичного моменту опору на ведучому валу за один його оберт та порівняємо її з кривою, яка отримана на основі 3D моделювання моделі машини та подальшого її кінематичного аналізу в САПР SolidWorks. При моделюванні моделі машини у САПР SolidWorks, маси усіх рухомих ланок приймали аналогічними до маси рухомих ланок експериментального стенду. Графіки залежності моменту опору ведучого валу від кута його повороту, встановлений аналітичним методом та за допомогою САПР SolidWorks представлений на рис. 4. За кут повороту ведучого валу, який рівний нулю градусів прийнято таке положення рухомих ланок машини, при якому вісь кріплення ведучого шатуна до робочої ємкості є вертикальною.

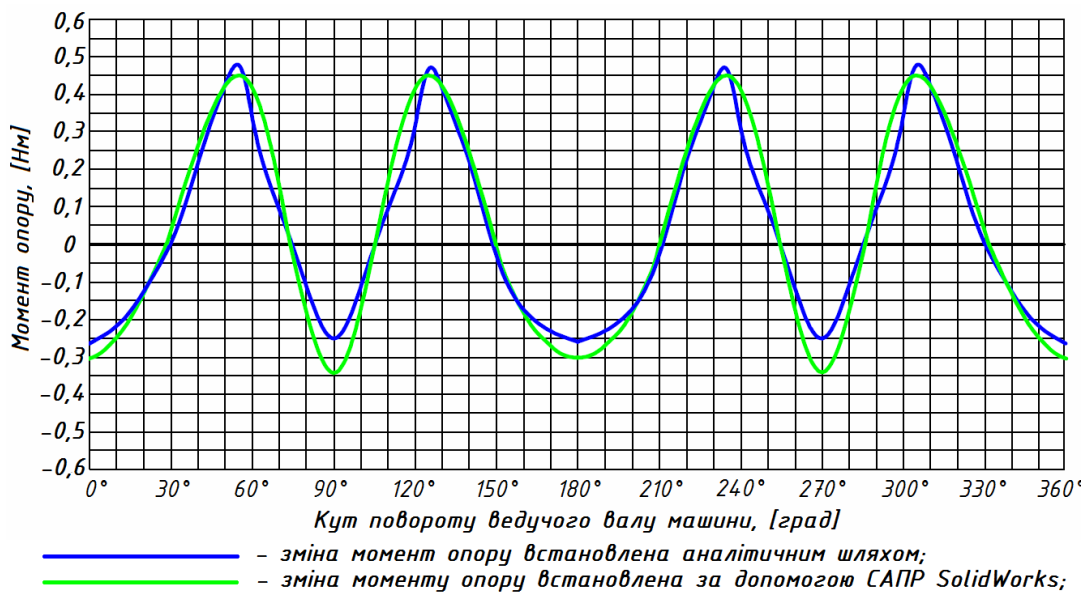


Рис. 4. Графік залежності моменту опору ведучого валу від кута його повороту

Крива, отримана на основі розрахункового методу практично аналогічна до кривої, отриманої за допомогою САПР SolidWorks; різниця між екстремальними значеннями додатного моменту опору двох кривих є незначною, дещо більша різниця між екстремальними значеннями від'ємного моменту опору, однак, це не є актуальним з точки зору раціонального проектування приводу галтувальної машини.

#### Висновки

1. Виконані дослідження статичного моменту опору на ведучому валу «базової» конструкції машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, який створений масою рухомих ланок машини.
2. Визначено, що в положеннях машини, коли її робоча ємкість проектується на вертикальну площину в натуральну величину, на ведучому валу виникатимуть максимальні значення статичного моменту опору.
3. Аналітично отримані рівняння, за допомогою яких можна визначити статичний момент опору на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості без урахування маси завантаженого до робочої ємкості сипкого середовища.
4. Отримані результати є основою для проведення подальших досліджень енергетичних параметрів галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

#### Література

1. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с.
2. Першин, В.Ф. Машини барабанного типу: основи теорії, расчета и конструирования / В.Ф. Першин. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1990. – 168 с.
3. Шумакова Т.А. Інструмент для виброобразивної обробки деталей: монографія / Т.А. Шумакова, В.И. Шаповалов, Ю.И. Гутько; Восточноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Луганск: Ноулідж, 2011. – 59 с.
4. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / О.П. Бурмістенков, Б.М. Злотенко, В.П. Коновал, І.В. Панасюк, М.Є. Скиба, О.М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.

5. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. - М.: Химия, 1988. – 176 с.
6. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ: Учебное пособие для рабочего образования. М.: Химия, 1987. – 176 с.
7. Панасюк І.В. Визначення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №5. – С. 40-46.
8. Marigo M. Discrete Element Method (DEM) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets / M. Marigo, EH Stitt // KONA Powder and Particle Journal – 2015. – No 32, P. 236-252.
9. Marigo M. Discrete element modelling (DEM) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis / Z. Yan, SK. Wilkinson, EH. Stitt, M. Marigo // Computational Particle Mechanics – 2014. – No 2. (Vol. 3), P. 283-299.
10. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264.
11. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24 – 32.
12. Модестов В.Б. Определение мощности смесителя, необходимой при смешивании сыпучих материалов. // "Химическое и нефтегазовое машиностроение", №3, 2003. С. 7 – 8.
13. Модестов В.Б. Смесители сыпучих и пастообразных материалов: монография / В. Б. Модестов; МОНМС Украины, Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, Технол. ин-т. – Луганск, 2011. – 353 с.
14. Панасюк І.В. Визначення деяких конструктивних параметрів змішувачів з тривимірним обертанням барабану / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2013. – №5. – С. 76-81.
15. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2021 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (дата відвідування: 11.02.2021).
16. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54 – 64.
17. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.

## References

1. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev – K.: Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.
2. Pershin, V.F. Mashyni barabannogo tipa: osnovyi teorii, rascheta i konstruirovaniya / V.F. Pershin. – Voronezh : Izd-vo VGU, 1990. – 168 s.
3. Shumakova T.A. Instrument dlya vibrobrazivnoy obrabotki detaley : monografiya / T.A. Shumakova, V.I. Shapovalov, Yu.I. Gutko; Vostochnoukr. nats. un-t im. V. Dallya. – Lugansk: Noulidzh, 2011. – 59 s.
4. Bumistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vztutivii ta shkirhalantereinii promyslovosti: monohrafiia / O.P. Bumistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.
5. Kopin V.A., Makarov V.L., Rostovtsev A.M. Obrabotka izdeliy iz plastmass. - M.: Himiya, 1988. – 176 s.
6. Shvarts A.I. Mehanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva formovyih RTI: Uchebnoe posobie dlya rabocheho obrazovaniya. M.: Himiya, 1987. – 176 s.
7. Panasiuk I.V. Vyznachennia zakonu zminy kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei zi skladnym rukhom robochoi yemkosti / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu – 2015. – №5. – S. 40-46.
8. Marigo M. Discrete Element Method (DEM) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets / M. Marigo, EH Stitt // KONA Powder and Particle Journal – 2015. – No 32, P. 236-252.
9. Marigo M. Discrete element modelling (DEM) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis / Z. Yan, SK. Wilkinson, EH. Stitt, M. Marigo // Computational Particle Mechanics – 2014. – No 2. (Vol. 3), P. 283-299.
10. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264.
11. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24 – 32.
12. Modestov V.B. Opredelenie moschnosti smesitelya, neobhodimoy pri smeshivanii syipuchih materialov. // "Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie", №3, 2003. S. 7 – 8.
13. Modestov V.B. Smesiteli syipuchih i pastobraznykh materialov: monografiya / V. B. Modestov; MONMS Ukrainyi, Vostochnoukr. nats. un-t im. V. Dallya, Tehnol. in-t. – Lugansk, 2011. – 353 s.
14. Panasiuk I.V. Vyznachennia deiakykh konstruktivnykh parametriv zmishuvachiv z tryvymirnym obertanniam barabanu / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu – 2013. – №5. – S. 76-81.
15. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2020 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wab-group.com/en/>.
16. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54 – 64.
17. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-293-1-93-96

УДК 621.313

Л.А. БІЛИЙ, О.С. ПОЛІЩУК, С.П. ЛІСЕВИЧ, А.О. ПОЛІЩУК, М.А. ЛУЧИНСЬКИЙ  
Хмельницький національний університет**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НЕЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

*В роботі обґрунтовано доцільність використання методу модулі чутливості до початкових умов для аналізу періодичних процесів нелінійних електромеханічних пристроїв.*

*Ключові слова: диференціальні рівняння, матриця чутливості, прискорений пошук, періодичні процеси.*

L. A. BILY, O.S. POLISHCHUK, S. P. LISEVYCH, A. O. POLISHCHUK, M.A. LUCHYNSKYI  
Khmel'nitsky National University**COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF PERIODIC PROCESSES OF NONLINEAR ELECTROMECHANICAL SYSTEMS**

*The analysis of processes of the basic methods of calculation of periodic (stationary) processes of nonlinear electromechanical systems is carried out. Modeling of steady-state electromechanical processes of electrical devices, covering both power energy converters (electric machines, transformers, electromagnetic devices) and automation devices (actuators, selsyn, position sensors, tachogenerators, rotary transformers, etc.) is one of the most difficult problems due to reproduction of physical processes of different nature that take place in them. Nominal operating modes of most of them are fixed or periodic, that is, their coordinates (currents, voltages, angular displacements, etc.) are periodic functions of time. The problem of finding periodic solutions of nonlinear differential equations is more difficult than the Cauchy problem of integrating these equations from the initial conditions to the establishment, because it imposes another condition on the solution - the periodicity condition. The main methods of analysis of periodic processes in continuous time are the method of models of sensitivity to initial conditions, extrapolation and gradient methods. This article is devoted to the comparison of these methods, which is based on their suitability for algorithmization of the computational process and the possibility of using them to solve other problems, such as determining the static stability of the periodic process.*

*Modern methods of studying static stability, in particular determining the limits of stability of periodic processes, are based on the algebraic criteria of Nyquist, Hurwitz and others. These methods are not subject to the ideology of building a single mathematical apparatus and creating on its basis a single algorithm for calculating periodic processes.*

*The practical use of the method, which is based on the model of sensitivity of system variables to their initial conditions, was hampered by the difficulty of determining the elements of the sensitivity matrix. In this paper, this problem is solved by representing the specified matrix by the product of two other matrices obtained on the basis of the functional relationship between electrical and magnetic parameters.*

*Keywords: differential equations, sensitivity matrix, accelerated search, periodic processes*

**Постановка проблеми**

Аналіз сталих періодичних процесів нелінійних динамічних систем є важливим завданням оптимального проектування через широке застосування в техніці пристроїв періодичного принципу дії. Внаслідок значного часу перехідної реакції таких об'єктів безпосереднє інтегрування диференціальних рівнянь, що їх описують, пов'язане зі значними затратами часу і втратою точності. Тому найчастіше використовують дискретні методи, що базуються на сіткових відображеннях або розкладанні функцій в ряд Фур'є. Ці та інші дискретні методи громіздкі в числовій реалізації та позбавлені критеріїв точності, тому що вимагають інтуїтивного вибору числа вузлів сітки, кількості членів ряду тощо.

**Аналіз останніх джерел**

Огляд літературних джерел, присвячений методам розрахунку усталених періодичних процесів, показує, що більшість з існуючих методів придатні для аналізу таких процесів у дискретному часі і жоден з них непридатний для проведення розрахунків процесів, у яких, крім електромагнітних змінних, до числа невідомих належить кутова швидкість переміщення контурів. Усі традиційні методи позбавлені критеріїв точності, бо на тому чи іншому етапі розрахунку включають в себе суб'єктивний фактор – вибір числа точок на періоді (точковий метод), вибір числа гармонік в рядах Фур'є (метод гармонійного балансу), тощо. Ці методи складні в алгоритмічному використанні.

**Метою роботи є:** метою дослідження є обґрунтування доцільності використання методу моделі чутливості до початкових умов для аналізу періодичних процесів електромеханічних пристроїв.

**Виклад основного матеріалу**

Бурхливий прогрес обчислювальної техніки і все більш широке використання теоретичних підходів в природничих науках сприяють прискореному розвитку математичного моделювання. Математична модель динамічної системи зазвичай є сукупністю диференціальних рівнянь, звичайних або з частинними похідними. При цьому опис лінійних систем витікає з практично завершених теоретичних передумов, в той час як теорія нелінійних динамічних систем поки що знаходиться на стадії формулювання і послідовної перевірки окремих типів нелінійних моделей. Це пояснюється перш за все низкою нових явищ, з якими ми тут зустрічаємося. Таким чином, нелінійні моделі часто мають не один, а кілька розв'язків, для них можливе

існування коливальних рішень. Характерною ознакою нелінійних задач є необхідність застосування чисельних методів для знаходження рішення.

І хоча сьогодні існує цілий ряд методів аналізу динамічної поведінки нелінійних моделей, основним інструментом вирішення багатьох практичних завдань залишається теорія звичайних диференціальних рівнянь. Це пояснюється, по-перше, наявністю добре розвинутого аналітичного апарату і чисельних методів розв'язання звичайних диференціальних рівнянь; по-друге, наявністю кількісних методів дослідження рішень звичайних диференціальних рівнянь, зокрема методів оцінки стійкості, аналізу поведінки рішень довкола особливих точок тощо; по-третє, прозорістю і природністю звичайного диференціального рівняння як математичної моделі для опису процесів переходу реальних об'єктів з одного стану в інший під дією зовнішніх і внутрішніх причин.

Ми обмежимося розглядом таких фізичних процесів, які можна адекватно описати за допомогою кінцевого числа взаємопов'язаних диференціальних рівнянь. Очевидно, що до цієї категорії об'єктів належать електротехнічні пристрої, які можна представити у вигляді електричних схем із зосередженими параметрами та механічні системи. В цьому випадку для опису поведінки системи в будь-який момент часу природно використовувати єдину математичну характеристику – змінну стану.

Оптимальне проектування і правильна експлуатація електротехнічних пристроїв вимагають розрахунку перехідних і сталих процесів, визначення статичної стійкості і параметричної чутливості, під якою розуміють чутливість вихідних параметрів системи до змін параметрів її елементів. Із перерахованих завдань лише розрахунок перехідних процесів здійснюється в неперервному часі. Інші завдань вирішуються в дискретному часі з залученням у кожному випадку різного математичного апарату і різних методів якісного аналізу.

Сьогодні для розрахунку сталих періодичних процесів застосовуються методи пошуку початкових умов, що дозволяють визначити такі значення змінних на початку періоду, які при чисельному інтегруванні на одному періоді призводять до періодичного рішення. Сюди належать квазіньютонівський [1], екстраполяційний [2] і градієнтний [3] методи. Вони орієнтовані на визначення вектора початкових значень  $x(0)$ , що відповідає сталому режиму роботи, для якого

$$F(x(0)) = x(0) - x(T) = 0, \tag{1}$$

де  $T$  – період процесу;  $x(0)$ ,  $x(T)$  – значення вектора змінних  $x$  у моменти часу  $t = 0$ ,  $t = T$ .

При цьому математичну модель об'єкта представлено системою рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = A(X) \cdot f(x, t), \tag{2}$$

де  $A(x)$  – матриця коефіцієнтів.

Екстраполяційний метод базується на  $\epsilon$ -алгоритмі, призначеному для знаходження числової послідовності з експонентними членами. Суть методу полягає в інтегруванні (2) на деякому проміжку часу  $\tau = (c + d)T$ , де  $c$  і  $d$  – критичні параметри екстраполяції.

В результаті інтегрування отримаємо послідовність значень

$$x^{(k)} = x(k, T), k = 1, 2, \dots, c + d. \tag{3}$$

Для сукупності значень (3), починаючи з  $c$ , будемо екстраполяційну формулу

$$x(0) = EXTR(x^{(c)}, x^{(c+1)}, \dots, x^{(c+d)}). \tag{4}$$

Функція EXTER є  $\epsilon$ -алгоритмом [4]

$$\begin{aligned} x_{-1}^{(r)} &= 0, \quad r = c, c + 1, \dots, c + d; \\ x_0^{(r)} &= x^{(r)}, \quad r = c - 1, c, c + 1, \dots, c + d; \\ x_{s+1}^{(r)} &= x_{s-1}^{(r+1)} + (x_s^{(r+1)} - x_s^{(r)})^{-1} \quad s = c - 1, c, \dots, c + d - 1; \\ & \quad r = c - 1, c, c + 1, \dots, c + d - 1 - s. \end{aligned} \tag{5}$$

Результат екстраполяції, що відповідає EXTER в [4], дорівнює  $x(0) = x_{c+d}^{(0)}$ .

Для системи (2) порядку  $n$  значення  $d \approx 2n$ . Значення  $c$  вибирають в межах від 1 до 5.

У лінійних системах рішення за допомогою (5) отримують за одну ітерацію, в нелінійних – за кілька.

Квазіньютонівський метод. У деяких випадках доводиться вирішувати систему звичайних диференціальних рівнянь за наявності умов на значення залежних змінних, що задають для різних значень  $t$ . Умова періодичності (1) містить два таких значення на початку  $x(0)$  і в кінці  $x(T)$  періоду. Задачі (1) і (2) називаються крайовими задачами, методи розв'язання яких відрізняються від методів вирішення задач Коші.

У разі нелінійних диференціальних рівнянь (2) система рівнянь (1) також є нелінійною. Увесь розв'язок можна розбити на три етапи: знаходження ефективного методу обчислення  $F(x(0))$ , вибір

відповідного ітераційного методу для вирішення рівняння (1) та підбір хорошого початкового наближення для  $x(0)$ .

При обчисленні  $F(x(0))$  отримують цілком задовільні результати, використовуючи простий метод інтегрування, наприклад метод Рунге-Кутта.

Для вирішення системи рівнянь (1) зазвичай використовують метод Ньютона:

$$x(0)^{k+1} = x(0)^k - \left[ F'(x(0)^k) \right]^{-1} \cdot F(x(0)^k), \quad (6)$$

де  $F'(x(0))$  – матриця Якобі, яку одержимо диференціюванням (1) за  $x(0)$ .

$$F'(x(0)) = E - \Phi(x(0), T). \quad (7)$$

Тут

$$\Phi(x(0), T) = \frac{\partial x(T)}{\partial x(0)}, \quad (8)$$

де  $\Phi(x(0), T)$  – матриця переходу станів або матриця чутливості змінної моделі до своїх початкових значень;  $E$  – одинична матриця.

Складність визначення матриці чутливості є основною перешкодою до використання квазіньютонівського методу для вирішення задач електромеханіки.

Вирішення цієї проблеми полягає в наступному. В електротехнічних пристроях існує функціональний зв'язок між електричними компонентами (позначимо через  $x$ ) і магнітними (позначимо через  $y$ ), що має вигляд:

$$x = x(y). \quad (9)$$

Система диференціальних рівнянь для змінної  $y$  буде такою:

$$\frac{dy}{dt} = f(x, t). \quad (10)$$

Диференціюючи (9) за  $x(0)$ , отримаємо при  $t = T$

$$\Phi(x(0), T) = A(x) \cdot S(x(0), T), \quad (11)$$

де

$$A(x) = \frac{\partial x}{\partial y}; \quad S(x(0), T) = \frac{\partial y}{\partial x(0)}. \quad (12 \text{ а, б})$$

Тут  $A(x)$  – матриця коефіцієнтів;  $S(x(0), T)$  – допоміжна матриця чутливості до початкових умов. Її елементи визначають із диференціальних рівнянь першої варіації, отриманих диференціюванням (10) за  $x(0)$ .

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial f(x, t)}{\partial x} \cdot A(x) \cdot S(x(0), T). \quad (13)$$

Вирази (11) та (13) свідчать про те, що при вирішенні електромеханічних задач матрицю чутливості можна представити добутком матриці коефіцієнтів моделі та допоміжної матриці чутливості, елементи якої легко визначаються з диференціальних рівнянь першої варіації.

На  $k$ -тій ітерації формули Ньютона (6) лінійне варіаційне рівняння (13) інтегрується спільно з (2) на періоді. В результаті визначимо цільову функцію (1), матрицю Якобі (7), цього достатньо для визначення правої частини ітераційної формули (6).

### Висновки

1. Аналіз усталених періодичних процесів доцільно здійснювати в часовій області, використовуючи для цього квазіньютонівський, екстраполяційний і градієнтний методи.

2. Найбільш простим та універсальним є квазіньютонівський метод. Вирішення проблеми обчислення матриці чутливості до початкових умов відкрило широкі можливості для розв'язування задач електромеханіки – найбільш складних задач теоретичної електротехніки.

3. Екстраполяційний алгоритм вимагає великих витрат машинного часу і обмежений у вирішенні задач з багатозначними розв'язками.

4. Складність алгоритмічної реалізації робить градієнтний метод найменш привабливим серед методів часового розв'язку.

**Література**

1. Aprille T.Y. A computer algorithm to determine the steady state response of nonlinear oscillators / T.Y. Aprille., T.N. Trick // IEEE Trans. Circuit Theorg.1972. Vol. CT –19-P.354 – 360.
2. Skelboe S. Computation of the periodic steady – state response of nonlinear networks by extrapolation methods / S. Skelboe // IEEE Trans. Circuit Syst.- 1980.- Vol. CAS –27 –P.161 – 175.
3. Nakhla M.S. Determining the periodic response of nonlinear system by a gradient method / M.S. Nakhla, F.H Branin. // int. J.Circuit Theory Appl.- 1997.- Vol.5.- 255-277.
4. Bresinski C.E. The solution of systems of equation using the (-algorithm and application to boundary – value problems / C.E. Bresinski, A.S. Ricu. // Math. Comp. - 1974. - Vol. 28. - N 127. - P. 731-741.

**References**

1. Aprille T.Y. A computer algorithm to determine the steady state response of nonlinear oscillators / T.Y. Aprille., T.N. Trick // IEEE Trans. Circuit Theorg.1972. Vol. CT –19-P.354 – 360.
2. Skelboe S. Computation of the periodic steady – state response of nonlinear networks by extrapolation methods / S. Skelboe // IEEE Trans. Circuit Syst.- 1980.- Vol. CAS –27 –P.161 – 175.
3. Nakhla M.S. Determining the periodic response of nonlinear system by a gradient method / M.S. Nakhla, F.H Branin. // int. J.Circuit Theory Appl.- 1997.- Vol.5.- 255-277.
4. Bresinski C.E. The solution of systems of equation using the (-algorithm and application to boundary – value problems / C.E. Bresinski, A.S. Ricu. // Math. Comp. - 1974. - Vol. 28. - N 127. - P. 731-741.

Рецензія/Peer review : 17.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.



С.М. БОЙКО, О.А. ЖУКОВ  
Криворізький національний університет  
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, І.В. КАСАТКІНА  
Вінницький національний технічний університет  
Я.С. ДОЛУДАРЄВА  
Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

## МОДЕРНІЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

*В останні роки у світі та в Україні спостерігається стійке зацікавлення проблемами використання відновлювальних джерел енергії, серед яких значна увага приділяється сонячним фотоелектричним установкам. Такий стан справ обумовлений світовою тенденцією до зниження негативного впливу енергетичної галузі на навколишнє середовище та сприятливого інвестиційного клімату. В енергобалансі всіх розвинених країн світу зростає частка відновлювальних джерел електроенергії, у тому числі частка енергії, що генерується сонячною енергетикою. Між тим, для покращення ефективності функціонування, і як результат прискорення терміну окупності сонячних фотоелектричних установок, актуальним питанням є вдосконалення систем управління ними. Актуальність цього питання зростає, враховуючи той факт, що за умови експлуатації сонячних фотоелектричних установок поблизу розробки деяких родовищ, треба враховувати, що в атмосферу можуть виділятися газоподібні речовини, основним із яких є радон, утворень при розпаді радія та пил, що осідає на поверхні. У статті запропонована модернізована система керування сонячної фотоелектричної установки. Результати моделювання показали, що запропонована система керування сонячної фотоелектричної установки підвищить її енергетичні характеристики на 10-15%.*

*Ключові слова: розосереджена генерація, сонячна фотоелектрична установка, система керування, модернізація.*

S.M. BOIKO, O.A. ZHUKOV  
Kryvyi Rih National University  
S.Y. VISHNEVSKY, I.V. KASATKINA  
Vinnytsia National Technical University  
Y.S. DOLUDARIEVA  
Kremenchug Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs

### MODERNIZED CONTROL SYSTEM OF SOLAR PHOTOELECTRIC INSTALLATION

*The last years in the world and in Ukraine there is the proof personal interest by the problems of the use of obnvytel'nykh energy sources which considerable attention to suns photo-electric options is spared among. Such state of businesses is conditioned by a world tendency to the decline of negative environmental impact of power industry and favourable investment climate. The particle of obnvytel'nykh sources of electric power, including particle of energy, grows in energobalans of the entire developed countries of world, that is generated by sun energy. Meantime, for poktaschennya efficiency of functioning, and as a result of acceleration of term of recoupment of suns fotoelektrychnyykh options, perfection of the control systems is an actual question by them. Actuality of this question grows, taking into account circumstance that on condition of exploitation of suns photo-electric options near-by development of some deposits, it is needed to take into account that the gaseous matters can be secreted in an atmosphere, from which a radon is basic, educations at disintegration of radium and dust, that settles on-the-spot. In the article the offered modernized control system of the sun photo-electric setting. The results of design rotined that the offered control system of the sun photo-electric setting would promote its power descriptions on 10-15%.*

*Key words: dispersed generation, sun photo-electric setting, control system, modernization.*

**Постановка проблеми.** В останні роки у світі та в Україні спостерігається стійке зацікавлення проблемами використання відновлювальних джерел енергії, серед яких приділяється значна увага сонячним фотоелектричним установкам. Такий стан справ обумовлений світовою тенденцією до зниження негативного впливу енергетичної галузі на навколишнє середовище та сприятливого інвестиційного клімату [1, 4].

В енергобалансі всіх розвинених країн світу зростає частка відновлювальних джерел електроенергії, у тому числі частка енергії, що генерується сонячною енергетикою [2, 5].

Між тим, для покращення ефективності функціонування, і як результат прискорення терміну окупності сонячних фотоелектричних установок (СФУ), актуальним питанням є вдосконалення систем управління ними [3].

**Актуальність цього питання** зростає, враховуючи той факт, що за умови експлуатації сонячних фотоелектричних установок поблизу розробки деяких родовищ, треба враховувати, що в атмосферу можуть виділятися газоподібні речовини, основним із яких є радон, утворень при розпаді радія та пил, що осідає на поверхні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На енергетичні характеристики керування сонячної фотоелектричної установки впливає багато факторів, як природніх, від яких напряду залежать енергетичні характеристики установки, так і ті, що виникають в умовах де експлуатується установка. Результати попередніх досліджень показали, що значний вплив серед інших факторів, на енергетичні характеристики сонячної фотоелектричної установки мають інсоляція, температура та чистота поверхні установки [6-11].

У попередніх дослідженнях обґрунтовано позитивний ефект від впровадження системи очищення поверхні фотоелектричної установки та аспекти експлуатації у різних умовах [8, 9].

**Визначення раніше невирішених частин загальної проблеми.** Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є модернізація системи керування сонячної фотоелектричної установки, враховуючи раніше проведені дослідження щодо технічного покращення її енергетичних характеристик.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є модернізація системи керування сонячної фотоелектричної установки з метою покращення її енергетичних характеристик.

**Виклад основного матеріалу.** При розробці корисних копалин в атмосферу кар'єрів виділяється також пил, що представляє собою дрібні тверді частинки розміром менше 0,1 - 0,5 мм., що можуть бути ядовиті і не ядовиті. До не ядовитого пилу відносять кварцовий пил. Ядовитий та радіоактивний пил можуть призводити до ракових захворювань [5].

Фізика процесу поширення пилу дозволяє виявити три основних фактори, що визначають пилову обстановку на будь-якому об'єкті, – це: вміст пилу в повітрі, винос (викид) пилу потоками, що рухаються, і відкладення пилу на прилеглих до її джерел територіях. Цілком логічно досліджувати ці чинники у взаємному зв'язку, причому головним з них є вміст пилу в повітрі, а наступні два залежать від нього і від параметрів аерозольної системи, зокрема, від швидкості газоповітряного потоку, маси пилових частинок і параметрів показників, що характеризують дифузію цих частинок.

Враховуючи умови оточуючого середовища, є доцільним введення додаткового коефіцієнту запиленості поверхні скла –  $K_{зан}$ . Значення даного коефіцієнту залежить від ККД номінального сонячного елемента відносно ККД розрахункового.

$$\eta_{розр.(ФЕП)} \leq \eta_{ном.(ФЕП)}$$

тобто

$$K_{зан} = (0 \dots \eta_{розр.(ФЕП)})$$

При різних значеннях  $K_{зан}$  необхідно проводити певні дії, щодо обслуговування сонячних панелей, з метою підвищення їх віддачі:

якщо  $K_{зан} = 0$  то не потрібно проводити непланову очистку СФУ, або виконувати перевірку працездатності СФУ.

якщо  $K_{зан} = 0,25$  то рівень генерації електричної енергії знаходиться на низькому рівні, необхідно проводити додаткову очистку СФУ.

якщо  $K_{зан} = 0,5$  то для підтримки номінальної генерації, необхідно проводити планову очистку СФУ.

якщо  $K_{зан} = 1$  то необхідності в проведенні очистки СФУ не виникає оскільки в цьому діапазоні генерація є близькою до номіналу.

Враховуючи всі вище наведені коефіцієнти  $\tau_{пр}$  і  $\tau_{ногл}$ , дійсний коефіцієнт пропускання визначається за формулою:

$$\tau_{прон} = \tau_{пр} \cdot \tau_{ногл} \cdot K_{зан}$$

З урахуванням всіх вище наведених залежностей була складена математична модель СФУ, в загальному вигляді, яку можна представити системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{СФЕ}(T, I, J) = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{(I \cdot z - J) e^{\frac{q}{A \cdot k \cdot T} \left[ U_{оxx} - \left( \frac{I - I_0}{I_0} \right) J_{оКЗ} \cdot R_{II} + \kappa \cdot \lg \left( \frac{I}{I_0} \right) + U_{оxx} \cdot \beta_U (T - T_0) \right] - 1}}{I \cdot z} + 1 \right] - J R_{II} \\ J_{КЗ}(I, T) = J_{оКЗ} + \frac{I - I_0}{I_0} J_{оКЗ} + \beta_I \cdot J_{оКЗ} (T - T_0) \\ T(I, T_B, \nu) = \frac{I' [\mu - \eta_0 (1 + \chi \cdot T_0)] + [(5,7 + 3,8\nu) + 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_B^3(n, t)] F \cdot T_B(n, t)}{[(5,7 + 3,8\nu) + 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_B^3(n, t)] F - I' \cdot \eta_0 \cdot \chi} \\ I(I_{II}, I_D, \rho, \Lambda, Y, \Omega, \tau_{прон}) = \left[ I_{II} \frac{\cos \Lambda}{\cos \Omega} + I_D \frac{(1 + \cos Y)}{2} + \rho(n) [(I_{II} + I_D)] \frac{(1 - \cos Y)}{2} \right] \tau_{прон} \\ \tau_{прон}(\Lambda) = (1 - \rho_{омп}(\Lambda)) \exp \left( -K \frac{B}{\cos \Lambda} \right) \\ U_{СФУ} = N_{ПС} \cdot U_{СФЕ}(T, I, J) \\ J_{СФУ} = N_{ПР} \cdot J \cdot S_{СФЕ} \\ P_{СФУ} = U_{СФУ} \cdot J_{СФУ} \\ \tau_{прон} = \tau_{пр} \cdot \tau_{ногл} \cdot K_{зан} \end{array} \right.$$

де  $U_{CFU}$  – напруга СФУ, В;  $k$  – безрозмірний параметр кривизни ВАХ;  $k$  – постійна Больцмана, Дж/°К;  $q$  – заряд електрона, Кл;  $T$  – температура СФУ, К;  $I, \Gamma$  – інтенсивність сонячного випромінювання, падаючого на поверхню СФУ і віднесена до одиниці поверхні СФУ, Вт/м<sup>2</sup>;  $z$  – коефіцієнт пропорційності густни фото потоку до інтенсивності сонячного випромінювання, А·м<sup>2</sup>/Вт·см<sup>2</sup>;  $J$  – густина струму, А/см<sup>2</sup>;  $U_0, J_0$  – напруга холостого ходу (В) і густина струму короткого замикання (А/см<sup>2</sup>) СФУ, зміни при стандартних умовах освітленості АМ1 ( $I_0=1000$  Вт/м<sup>2</sup>;  $T_0 =298,15$  °К);  $R_{ll}$  – внутрішній електричний опір (последовне), Ом·см<sup>2</sup>;  $\kappa$  – безрозмірний коефіцієнт освітленості;  $\beta_I, \beta_U$  – температурні коефіцієнти струму і напруги, К<sup>-1</sup>;  $J_{K3}$  – густина струму короткого замикання, А/см<sup>2</sup>;  $\mu$  – інтегральний коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання СФУ;  $\eta_0$  – коефіцієнт корисної дії (КПД) СФУ одержаний при стандартних умовах випробувань;  $\chi$  – температурний градієнт, залежний в основному від типу і конструкції СФУ, К<sup>-1</sup>;  $(5,7+3,8v)$  – розмірне співвідношення Мак–Адамса для розрахунку коефіцієнта конвекції, Вт/(м<sup>2</sup>·°К), де  $v$  – швидкість вітру, м/с;  $\epsilon$  – інтегральний коефіцієнт випромінювання СФБ;  $\sigma$  – постійна Стефана – Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·°К<sup>4</sup>);  $T_B$  – температура оточуючого повітря, °К;  $n$  – порядковий номер дня року, відлічуваний від 01 січня;  $t$  – час, год.;  $F$  – відношення площі плоскої СФУ (тильною і лицевою) до площі освітлювальної поверхні;  $I_{п}, I_{д}$  – інтенсивність прямого і дифузного (розсіяного) сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>;  $\Lambda, \Omega, \Upsilon$  – кути, визначаючу просторову орієнтацію наземних СФУ, град.;  $\rho$  – коефіцієнт відбивання сонячних поменів від земної поверхні (альbedo);  $\tau_{prop}, \rho_{o\ tr}$  – коефіцієнт пропускання і відбивання сонячного випромінювання захисної поверхні СФБ;  $K$  – показник поглинання сонячного випромінювання захисною поверхнею СФБ, см<sup>-1</sup>;  $B$  – товщина захисної поверхні СФУ, см;  $U_{CFU}$  – напруга СФУ, В;  $J_{CFU}$  струм навантаження СФУ, А;  $N_{пс}, N_{пр}$  – число послідовно і паралельно з’єднаних СФЕ в СФБ;  $S_{CFE}$  – площа СФЕ, см<sup>2</sup>;  $P_{CFE}$  – потужність СФУ, Вт.

В розробленій математичній моделі, прийняті наступні припущення:

- послідовний опір СФУ не залежить від інтенсивності сонячного випромінювання і температури СФУ;
- величина фотоструму пропорційна інтенсивності сонячного випромінювання і не залежить від температури;
- спектральна чутливість СФУ і внутрішні втрати енергії, пов'язані з можливим затіненням СФЕ або їх частин не враховуються.
- розподіл сонячного випромінювання по поверхні СФУ рівномірний (враховується зміна площі видимості СФУ сонячними променями, але не враховується ступінь затінення);
- температура по всьому об'єму СФУ однакова, з відсутністю перепадів температур уздовж її поверхні;
- значення швидкості вітру для лицьової і тильної поверхні СФБ однакове, напрямок вітру не враховується.

Розроблена математична модель СФУ дозволяє оцінити вплив на вихідні енергетичні характеристики СФУ, як внутрішніх, так і зовнішніх чинників (інтенсивності сонячного випромінювання, температури повітря, швидкості вітру, ступеня орієнтації СФУ до Сонця залежно від пори року і доби) [20].

Представлена модель дозволяє моделювати продуктивність роботи фотоелектричного перетворювача. Моделювання впливу оточуючого середовища здійснюється шляхом зміни інтенсивності опромінення. Також при генерації враховується температура фотоелектричного перетворювача, що в свою чергу відображається на ефективності його роботи. Ефективність інвертора вважається фіксованою 97 відсотками. Значення було визначено з моделі examples solar converter. Модель представлена на рис.1.

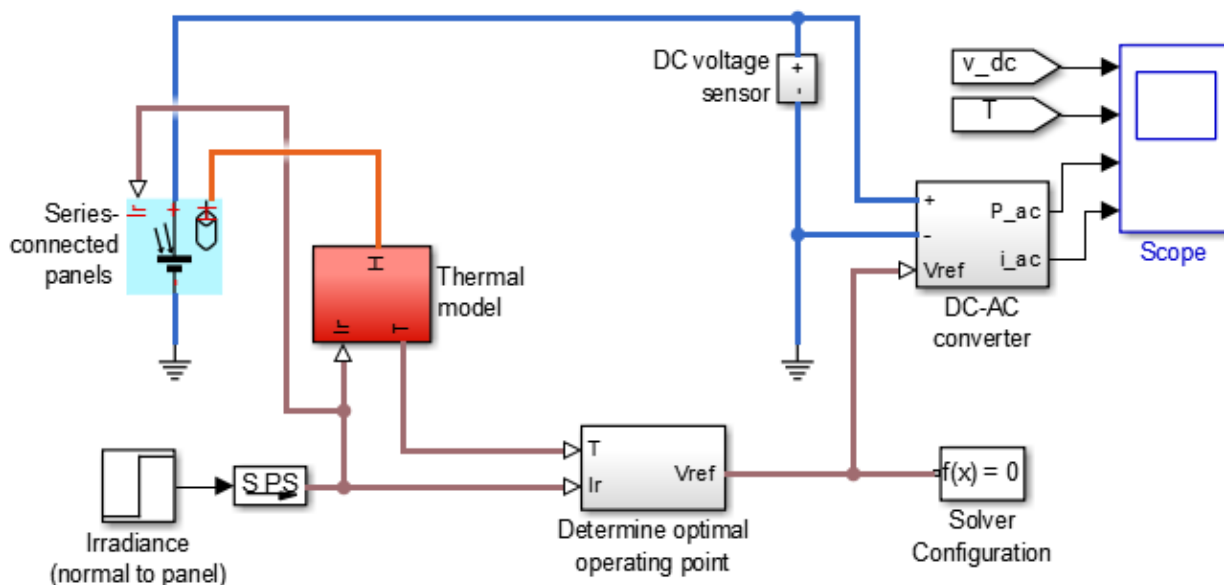


Рис. 1. Загальний вигляд моделі фотоелектричного перетворювача

Розглянемо блоки модельованої схеми:  
 - блок сонячної панелі

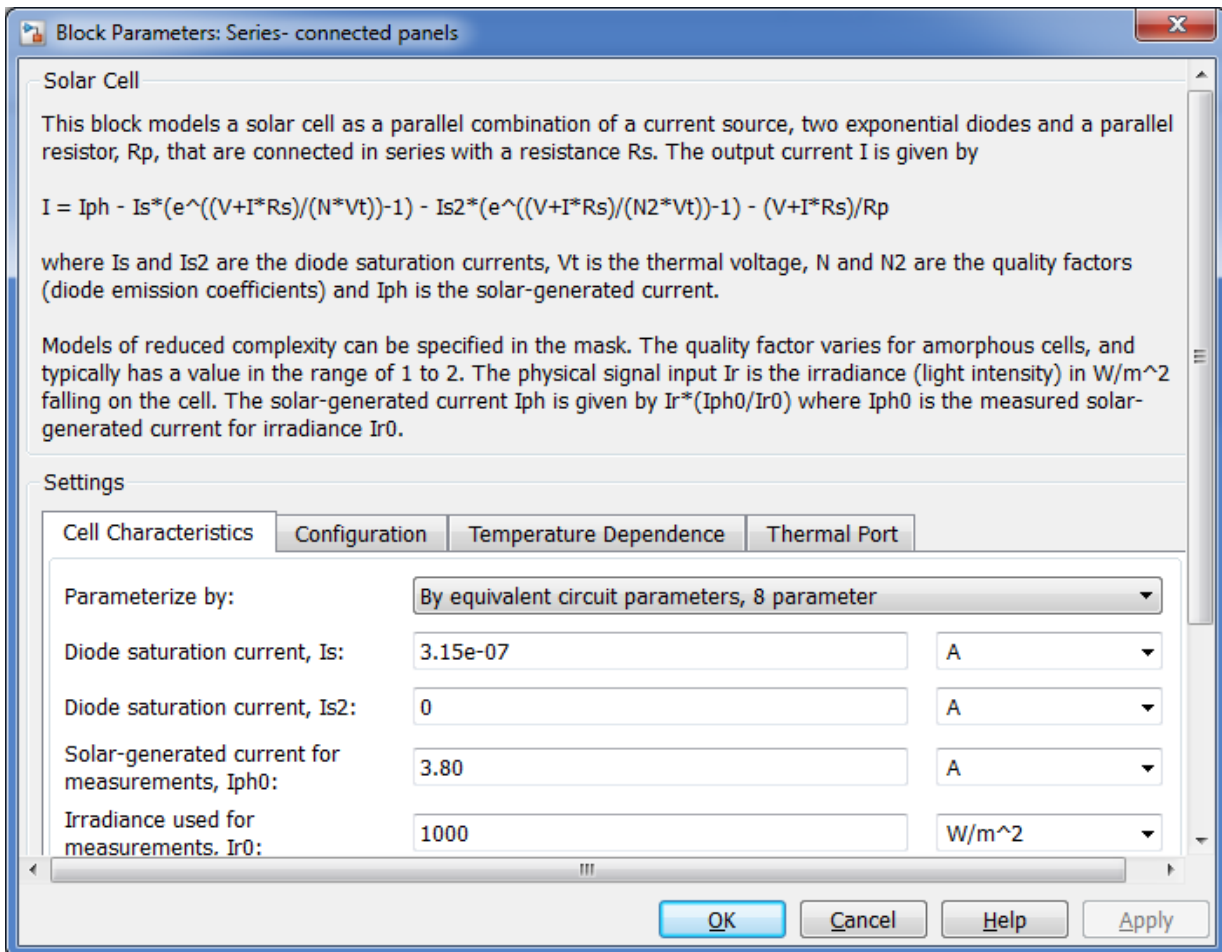


Рис . 2. Блок сонячної панелі

Цей блок моделює сонячну батарею як паралельну комбінацію джерела струму, експонентного діоду та паралельного резистора  $R_p$ , які послідовно з'єднані з опором  $R_s$ . Вихідний струм  $I$  заданий

$$I = I_{ph} - I_s \cdot \left( e^{\left( \frac{(V + I \cdot R_s)}{(N \cdot V_t)} \right)} - 1 \right) - I_{s2} \cdot \left( e^{\left( \frac{(V + I \cdot R_s)}{(N_2 \cdot V_t)} \right)} - 1 \right) - \frac{(V + I \cdot R_s)}{R_p}$$

де  $I_s$  та  $I_{s2}$  – струми насичення діода,  $V_t$  – теплова напруга,  $N$  і  $N_2$  – коефіцієнти якості (коефіцієнти діодних емісій), а  $I_{ph}$  – струм, що генерується сонячним випромінюванням.

Моделі зменшеної складності можна вказати в маску. Коефіцієнт якості змінюється для аморфних клітин, і зазвичай має значення в діапазоні від 1 до 2. Вхід фізичного сигналу  $I_r$  – це освітлення (інтенсивність світла) в  $Wt / m^2$ , що падає на клітину. Течія  $I_{ph}$ , що генерується сонячним випромінюванням, дається  $I_r \cdot \left( \frac{I_{ph0}}{I_{r0}} \right)$  де  $I_{ph0}$  – це вимірний струм, що генерується сонячним випромінюванням для випромінювання  $I_{r0}$ .

- блок інсоляції

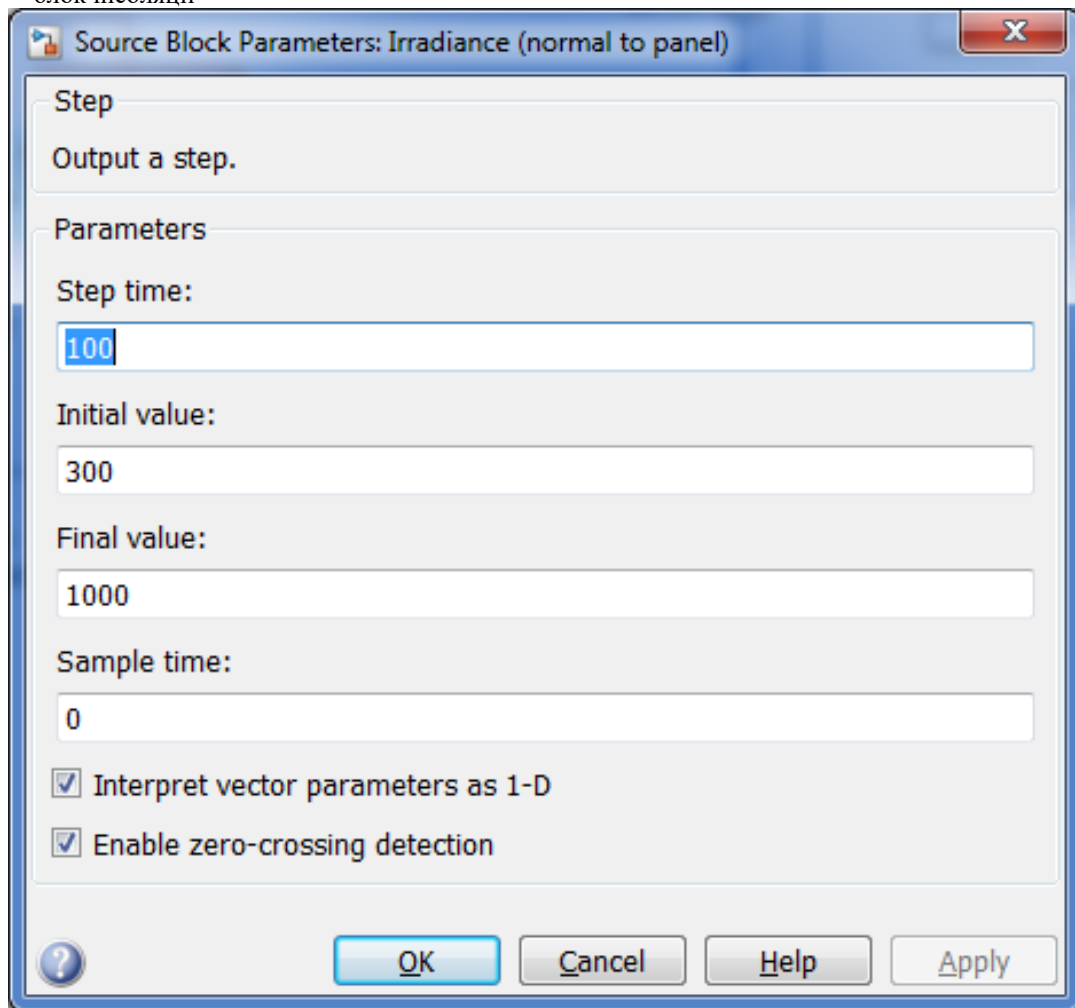


Рис. 3. Блок інсоляції

В даному блоці виставляємо стандартні значення.

Параметр одиниці вимірювання в блоці "Вхідний сигнал блоку" пов'язаний з бездисковим вхідним сигналом Simulink та визначає одиницю, яка призначена для фізичного сигналу.

Прапорець «Застосувати афінну конверсію» є відповідним лише для одиниць із зміщенням (наприклад, одиниць температури).

Приведені нижче графіки показують характеристики сончної панелі без системи очистки.

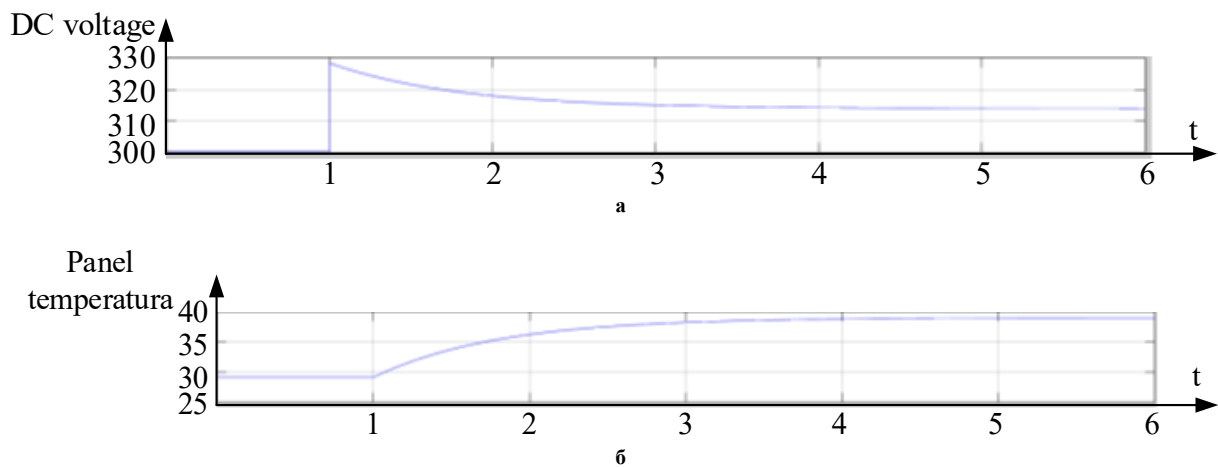


Рис. 4. Енергетичні характеристики представленої моделі:  
а – характеристика напруги постійного характеру; б – Температура фотоелектричного перетворювача

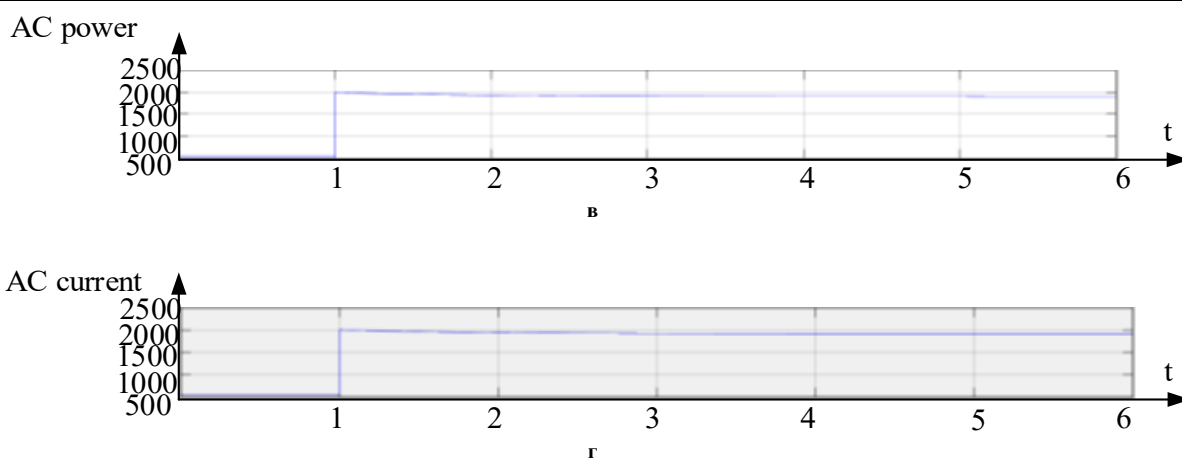


Рис. 4 (продовження). Енергетичні характеристики представленої моделі:  
в – змінна потужність фотоелектричного перетворювача; г – графік змінного струму.

Після впровадження системи очистки було повторено експеримент і отримані такі графіки:

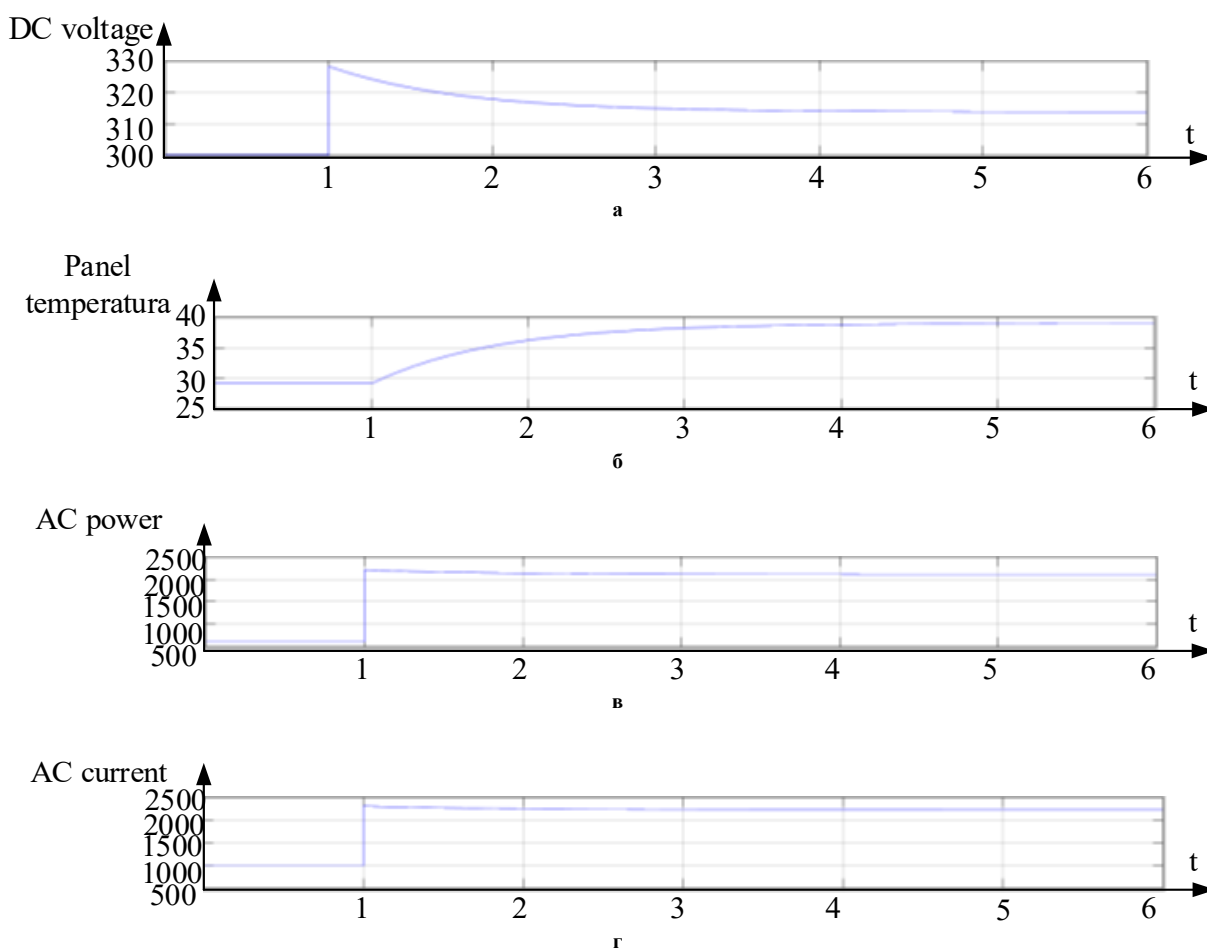


Рис. 5. Енергетичні характеристики представленої моделі після впровадження системи очистки:  
а – характеристика напруги постійного характеру; б – Температура фотоелектричного перетворювача;  
в – змінна потужність фотоелектричного перетворювача; г – графік змінного струму.

Як бачимо з графіків можна зробити висновки, що до використання системи очистки генерована потужність становила 2000 кВт, при використанні системи очистки генерована потужність зростає до 2300 кВт. Тобто можна зробити висновок і сказати що застосування системи очистки має кращий ефект на роботу СЕС.

**Висновки і пропозиції.** 1. У статті запропонована модернізована система керування сонячної фотоелектричної установкою.

2. Результати моделювання показали, що запропонована система керування сонячної фотоелектричної установкою підвищить її енергетичні характеристики на 10-15%.

## Література

1. Vick Alan J. Air Base Attacks and Defensive Counters Historical Lessons and Future Challenges [Research Report] / Alan J. Vick. – RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 2015
2. Unated States Air Force. Air Force Basic Doctrine, Organization, and Command. Air Force Doctrine Document 1.14 October 2011
3. O. M. Sinchuk, S. M. Boiko, F. I. Karamanyts, I. A. Kozakevych, M. L. Baranovska, and A. M. Yalova, Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supple systems. Warsaw, Poland: IsIENCT, 2018.
4. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
5. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. // Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України: [Електронний ресурс]: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
6. Основні результати та завдання впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні / Шульга В. Г., Коробко Б. П., Жовмір М. М. // Энергетика и электрификация. – 1995. – №2. – С. 39–42.
7. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього / В.Д. Білолід, К.В. Таранець // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С. 40–47.
8. Сінчук О. М. Аспекти впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств / О. М. Сінчук, С.М. Бойко, О.М. Городній, А.В. Некрасов, А.О. Онищенко, М.О. Ножнова // Технічні науки та технології. Чернігів: ЧНТУ, – 2020. – № 1 (19). – С. 152-160.
9. Бойко, С.М., Демків В. С., Дозоренко О. В., Вирвикишка С. В. Особливості побудови систем очистки сонячних панелей в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі Materials of the XIII International scientific and practical conference, CUTTING-EDGE SCIENCE – 2017. – Volume 15. Sheffield. Science and education LTP –P. 34-36.
10. Вісаріонов В.І., Дерюгіна Г.В., Кузнецова В.А., Малінін Н.К. «Сонячна енергетика» – Москва: Издательский дом МЭИ 2008 – 277 с.
11. Праховник А.В. Мала енергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения – К. : «Освіта України», 2007. – 464с.

## References

1. Vick Alan J. Air Base Attacks and Defensive Counters Historical Lessons and Future Challenges [Research Report] / Alan J. Vick. – RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 2015
2. Unated States Air Force. Air Force Basic Doctrine, Organization, and Command. Air Force Doctrine Document 1.14 October 2011
3. O. M. Sinchuk, S. M. Boiko, F. I. Karamanyts, I. A. Kozakevych, M. L. Baranovska, and A. M. Yalova, Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supple systems. Warsaw, Poland: IsIENCT, 2018.
4. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
5. Energetichna strategija Ukraїni na period do 2035 r. // Sajt Ministerstva energetiki ta vugil'noї promislivosti Ukraїni: [Elektronnij resurs]: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
6. Osnovni rezul'tati ta zavdannja vprovadzhenja netradicijnih ta vidnovljuvanih dzherel energії v Ukraїni / Shul'ga V. G., Korobko B. P., Zhovmir M. M. // Jenergetika i jelektrifikacija. – 1995. – №2. – S. 39–42.
7. Mala energetika ta її znachennja v regional'nih sistemah majbutn'ogo / V.D. Bilolid, K.V. Taranec' // Problemi zagal'noї energetiki. – 2008. – №18. – S. 40–47.
8. Sinchuk O. M. Aspekti vprovadzhenja sonjachnih elektrostancij v umovah girnichorudnih pidpriemstv / O. M. Sinchuk, S.M. Bojko, O.M. Gorodnij, A.V. Nekrasov, A.O. Onishhenko, M.O. Nozhnova // Tehnichni nauki ta tehnologii. Chernigiv: ChNTU, – 2020. – № 1 (19). – S. 152-160.
9. Bojko, S.M., Demkiv V. S., Dozorenko O. V., Virvikishka S. V. Osoblivosti pobudovi sistem ochistki sonjachnih panelej v umovah pidpriemstv girnicho-vidobuvnoї galuzi Materials of the XIII International scientific and practical conference, CUTTING-EDGE SCIENCE – 2017. – Volume 15. Sheffield. Science and education LTP –R. 34-36.
10. Visarionov V.I., Derjugina G.V., Kuznecova V.A., Malinin N.K. «Sonjachna energetika» – Moskva: Izdatel'skij dom MJEI 2008 – 277 s.
11. Prahovnik A.V. Malaja jenergetika: raspredelennaja generacija v sistemah jenergosnabzhenija – K. : «Osvita Ukraїni», 2007. – 464s.

Рецензія/Peer review : 13.02.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

А.А. ВИДМИШ, А.А. ШТУЦЬ, М.А. КОЛІСНИК  
Вінницький національний аграрний університет

## БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ФАЗНИМ РОТОРОМ

Найактуальнішими проблемами сучасної електроенергетики є проблеми раціонального використання енергоресурсів та забезпечення високої надійності технологічних процесів.

Проблема вибору приводу для різноманітних сільськогосподарських установок (лебідки, насоси і т.д.) залишається актуальною. Практично вибір прийняттого варіанту зводиться до зіставлення нерегульованого і регульованого за частотою обертання приводів. Відомо, що зі збільшенням навантаження ефективність застосування регульованого приводу (на базі асинхронного двигуна з фазним ротором або двигуна постійного струму) зростає [1]. Такий привід найкращим чином відповідає технологічним вимогам, таким як істотне збільшення обсягу і вартості електрообладнання, втрат і т.д. У той же час при невеликих і малозмінних навантаженнях застосування нерегульованого або частково регульованого приводу - синхронного електроприводу більш актуальне (менші втрати, можливість регулювання реактивної потужності і т.д.).

Використання двигунів змінного струму з фазним ротором у синхронному режимі доцільно при номінальній потужності 25 - 100 кВт. Для забезпечення їх нормальної роботи номінальна потужність у синхронному режимі повинна бути знижена на 25 - 30%, та застосовано автоматичне регулювання збудження для забезпечення стійкості при короткочасних перевантаженнях. Додаткові затрати компенсуються збільшенням к.к.д. двигуна на 1.5 - 2% та зменшенням втрат у мережі живлення.

Застосування синхронізованих асинхронних двигунів з фазним ротором (САДФР) є частиною загальної альтернативи щодо заміни асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором більш економічними високонадійними двигунами.

Робота САДФР у багатьох механізмах при швидкості, що на 5-6% перевищує робочу швидкість асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (АДКР), забезпечує помітне збільшення продуктивності технологій або додаткову економію енергоспоживання при заданому обсязі виробництва.

Запропонований синхронний компенсатор на базі АДФР з напівпровідниковим збуджувачем є простим і надійним засобом компенсації реактивної потужності.

Багатоцільове використання електроприводів дозволяє розширити сферу енергозберігаючих технологій та зменшити витрати електричної енергії.

Ключові слова: асинхронний двигун з фазним ротором, синхронізований асинхронний двигун, синхронний компенсатор.

A. A. VIDMYSH, A. A. SHTUTS, M. KOLISNYK  
Vinnitsia National Agrarian University

## MULTIFUNCTIONAL USE OF ASYNCHRONOUS MOTORS WITH PHASE ROTOR

The most pressing problems of modern electricity are the problems of rational use of energy resources and ensuring high reliability of technological processes.

The problem of choosing a drive for various agricultural installations (winches, pumps, etc.) remains relevant. In practice, the choice of an acceptable option is to compare unregulated and adjustable in speed drives. It is known that with increasing load, the efficiency of the adjustable drive (based on an induction motor with a phase rotor or a DC motor) increases [1]. This drive best meets the technological requirements, such as a significant increase in the volume and cost of electrical equipment, losses, etc. At the same time at small and invariable loadings application of the unregulated or partially regulated drive - the synchronous electric drive is more actual (smaller losses, possibility of regulation of reactive power, etc.).

The use of AC motors with a phase rotor in synchronous mode is advisable at a rated power of 25 - 100 kW. To ensure their normal operation, the rated power in synchronous mode should be reduced by 25 - 30%, and automatic excitation control is applied to ensure stability during short-term overloads. Additional costs are offset by an increase in efficiency. motor by 1.5 - 2% and reducing power losses.

The use of synchronous induction motors with a phase rotor (SADFR) is part of a general alternative to replacing induction motors with a short-circuited rotor with more economical, highly reliable motors.

The operation of SADFR in many mechanisms at speeds that are 5-6% higher than the operating speed of induction motors with short-circuited rotor (ADCR), provides a significant increase in technology productivity or additional energy savings at a given volume of production.

The proposed synchronous compensator based on ADFR with a semiconductor exciter is a simple and reliable means of reactive power compensation.

Multi-purpose use of electric drives allows to expand the field of energy-saving technologies and reduce electricity consumption.

Key words: induction motor with phase rotor, synchronized asynchronous motor, synchronous compensator.

### Постановка проблеми

Доцільність застосування асинхронного двигуна з фазним ротором (АДФР) в якості синхронізованого асинхронного двигуна (САД) для приводу виробничих механізмів агропромислового виробництва та в якості синхронного компенсатора (СК). Таким чином, дослідження, пов'язані з розширенням можливостей використання стандартних двигунів, є актуальними.

Впровадження отриманих результатів дозволяє:

- розрахувати енергопоказники фазних роторних обмоток асинхронних двигунів при живленні постійним струмом;



- забезпечити помітне збільшення продуктивності технологій або додаткову економію енергоспоживання при заданому обсязі виробництва за рахунок збільшення швидкості або зменшення часу вмикання двигуна.

- використати синхронний компенсатор на базі АДФР з напівпровідниковим збуджувачем в якості простого і надійного засобу компенсації реактивної потужності.

- забезпечити багатопільове використання електроприводів, що дозволяє розширити сферу енергозберігаючих технологій.

### Результати досліджень

*Енергопоказники фазних роторних обмоток асинхронних двигунів при живленні постійним струмом.*

Відомо, що трифазний двигун змінного струму з фазним ротором може бути використаний в якості синхронного двигуна при живленні його обмотки ротора постійним струмом [1]. Основною причиною, яка обмежує застосування машин з фазним ротором у синхронному режимі, є недостатня величина їх статичної переважувальної здатності.

І у асинхронному і в синхронному режимах величина максимальної корисної потужності (граничної по умові статичної переважувальної здатності) залежить від величини намагнічуючої сили (н.с.) роторної обмотки у момент досягнення границі статичної стійкості.

Для асинхронного режиму максимальна корисна потужність з достатнім ступенем точності визначається [2] за формулою:

$$P_{ма} = UI_{2M} \cos \varphi_m \quad (1)$$

де  $I_{2M}$  і  $\cos \varphi_m$  - відповідно діюче значення струму ротора і коефіцієнта потужності у момент досягнення границі статичної стійкості,  $U$  - прикладена до обмотки статора номінальна напруга.

Кут  $\varphi_m$  визначається при найбільшому значенні активного струму ротора. З аналізу векторної діаграми асинхронного двигуна у режимі максимального статичного навантаження виходить, що

$$\varphi_m \approx 45^\circ; \cos \varphi_m \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

У режимі максимальної потужності, при ковзанні, яке дорівнює критичному, асинхронні двигуни загальнопромислового застосування мають струм ротора

$$I_{2M} = (2.8 \div 3.2) I_{2H}$$

Тоді

$$P_{MA} = \frac{2.8 \div 3.2}{\sqrt{2}} \cdot I_{2H} \cdot U = (2 \div 2.3) UI_{2H}.$$

У синхронному режимі [2] максимальна потужність:

$$P_{MC} = UI_{2H}$$

При постійному струмі збудження  $i_{FM} = i_{FM} = i_{2H}$

тоді

$$P_{MC} = UI_{2H} \quad (4)$$

Зрівняємо величину статичної переважувальної здатності у синхронному та асинхронному режимах. Для цього складемо відношення максимальних потужностей асинхронного і синхронного режимів:

$$\frac{P_{MA}}{P_{MC}} = 2 \div 2.3 \quad (5)$$

Таким чином, при однаковій величині діючого значення струму ротора у асинхронному режимі та середнього значення постійного струму (струму збудження) у синхронному режимі статична переважувальна здатність у 2 - 2.3 рази більша, ніж у синхронному режимі. Фізично це пояснюється тим, що у асинхронному режимі струми статора та ротора знаходяться у трансформаторному зв'язку, збільшення струму статора викликає збільшення струму ротора, тобто зі збільшенням навантаження дія реакції якоря (статора) компенсується збільшенням струму  $I_2$ , при цьому з збільшенням навантаження запас стійкості зберігається у великому діапазоні навантажень. У синхронному режимі вторинна н.с. постійна, зі збільшенням навантаження запас стійкості зменшується під дією реакції якоря. При відносно малій величині повітряного проміжку машини з фазним ротором (у 2 - 3 рази менше при порівнянні з серійними синхронними машинами) статична переважувальна здатність невелика.

Відношення переважувальних здатностей за формулою (5) отримано з умови, що намагнічуючі сили ротора при номінальному діючому значенні змінного струму та середньому значенні постійного струму однакові. Вищі гармоніки у кривій розподілення н.с. на змінному струмі змінюються за величиною в часі, тому стійкість на змінному струмі визначається основною гармонікою н.с. 3-фазної обмотки, амплітуда якої визначається відомою формулою (3):

$$F_1 = 1.35 \frac{W \cdot K_{об}}{\rho} \tag{6}$$

При тих самих значеннях  $w, K_{об}, \rho$  амплітуда основної гармоніки на постійному струмі залежить від конкретної схеми живлення ротора, тому що у цьому випадку вищі гармоніки розподіленої у просторі н.с. незмінні в часі схеми.

На рис.1 викладена схема живлення обмотки ротора та відповідне їй розподілення н.с. обмотки при умові, що  $i_A = i_{дн}$ . Розподілення н.с. отримано графічно для обмотки, яка має число пазів на полюс та фазу  $q=4$ .

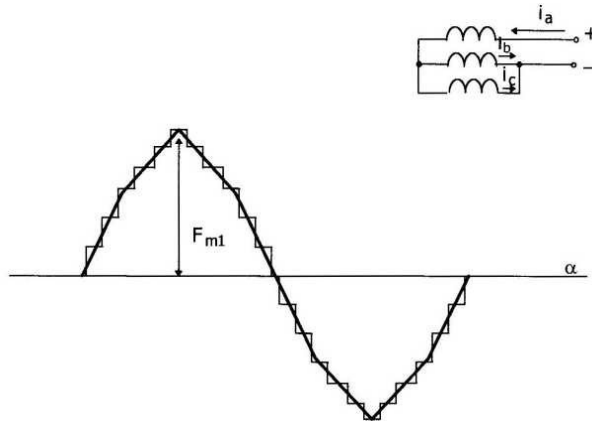


Рис. 1. Схема живлення обмотки ротора (дві обмотки ввімкнені паралельно одна послідовно)

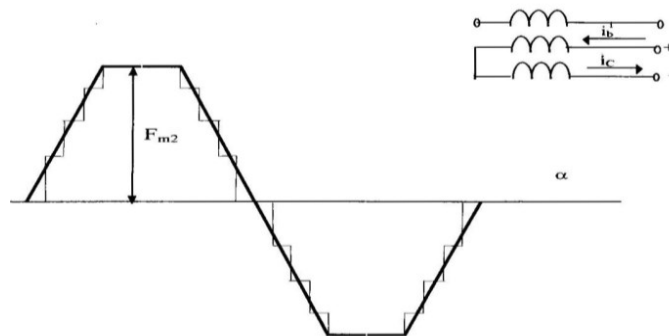


Рис. 2. Схема живлення обмотки ротора (дві обмотки ввімкнені послідовно, одна незадіяна)

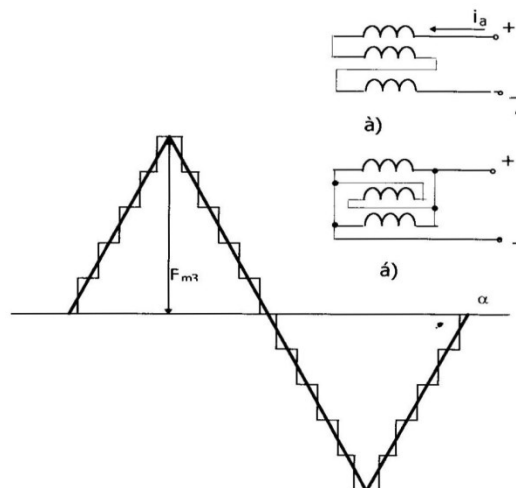


Рис. 3. Схема живлення обмотки ротора (а) всі обмотки ввімкнені послідовно, б) всі обмотки ввімкнені паралельно).

На рис.2 та 3 показані інші можливі схеми вмикання обмотки ротора та відповідні їм розподілення н.с., які на всіх рисунках побудовані у однаковому масштабі. Якщо розкласти у ряд Фур'є криві рис.1, 2, 3, то отримаємо наступні аналітичні вирази для н.с.:

$$F_{1a} = 0.96 \cos \alpha - 0.15 \cos 3\alpha + 0.042 \cos 5\alpha + \dots ; \tag{7}$$

$$F_{2a} = 1.14 \cos \alpha + 0.116 \cos 3\alpha + 0.037 \cos 5\alpha + \dots ; \tag{8}$$

$$F_{3a} = 1.28 \cos \alpha - 0.138 \cos 3\alpha + 0.05 \cos 5\alpha + \dots ; \tag{9}$$

Зі порівняння формул (7), (8), (9) видно, що найбільша величина н.с. основної гармоніки виходить при живленні обмоток ротора по схемі рис. 3 (а, б), вона більша на 33% відповідної амплітуди при схемі ввімкнення по рис.1 та на 11% - по схемі рис.2.

Схема 3б має перевагу, тому що вона утримує замкнуті контури, які грають роль обмотки заспокоєння. Крім того, постійна часу обмотки збудження по рис.3б менша ніж по рис.3а, що важливо при різкозмінному навантаженні двигуна.

Розподілення н.с. у загальному випадку можна отримати аналітично. На постійному струмі амплітуда н.с. у-тої гармоніки [3]:

$$F_{\phi v} = \frac{0.9}{\sqrt{2}} \frac{w \cdot k_{\text{обв}}}{v\rho} I \quad (10)$$

Для фаз А,В,С розподілення н.с. має вигляд:

$$F_{\phi A} = F_{\phi v} \cos va; \quad (11)$$

$$F_{\phi B} = F_{\phi v} \cos \left[ v \left( a - \frac{2\pi}{3} \right) \right]; \quad (12)$$

$$F_{\phi C} = F_{\phi v} \cos \left[ v \left( a - \frac{4\pi}{3} \right) \right]. \quad (13)$$

Поле кожної фази нерухоме відносно ротора. Загальну н.с. отримаємо додаванням фазних н.с. Для схеми рис.1:

$$F_{v1} = F_{\phi v} \cos va - 0.5F_{\phi v} \cos \left[ v \left( a - \frac{2\pi}{3} \right) \right] - 0.5F_{\phi v} \cos \left[ v \left( a - \frac{4\pi}{3} \right) \right] \quad (14)$$

Для схеми рис.2:

$$F_{v1} = F_{\phi v} \cos va - 0.5F_{\phi v} \cos \left[ v \left( a - \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (15)$$

Для схеми рис.3:

$$F_{v1} = F_{\phi v} \cos va - 0.5F_{\phi v} \cos \left[ v \left( a - \frac{2\pi}{3} \right) \right] + 0.5F_{\phi v} \cos \left[ v \left( a - \frac{4\pi}{3} \right) \right] \quad (16)$$

Формули (14), (15), (16) дозволяють розрахувати н.с. відповідних у-тих гармонік для конкретного типу обмотки.

#### Застосування синхронізованих асинхронних двигунів з фазним ротором для енергозберігаючих технологій.

Сучасне масове застосування в електроприводі агропромислового комплексу асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (АДКР) при номінальних потужностях від 10 до 200 кВт має своє обґрунтування в економічних перевагах при їхньому виробництві та експлуатації. Разом з тим, неспинне зростання цін на енергоносії, а отже зростання вартості втрат електроенергії в АДКР ставить на чергу дня розробку серій АДКР з підвищеним к.к.д. або заміну їх синхронними двигунами (СД), які мають вищий к.к.д., але більшу масу і розміри.

Проблема впровадження СД на заміну АДКР обговорюється на протязі десятиріч(І), але раніше слабо вирішувалось через формальне ставлення до питань економії електроенергії. В умовах ринкових відносин економічний фактор стає одним із рівнів технічної політики. Зважаючи на масовий характер застосування вказаних альтернативних варіантів зазначимо, що на терені України СД на потужності 10-200 кВт не випускаються, що створює серйозні перешкоди до впровадження СД.

Поряд з СД замість АДКР може застосовуватись синхронізований асинхронний двигун з фазним ротором (САДФР), що має збудження від напівпровідникового збудника. При наявності трьох контактних кільць на роторі раціональна схема збудження має вигляд рис.4.

Перевага цієї схеми - ефективне використання обмотки ротора (2) та наявність демпферного контуру (1-2-0 на рис.4). При живленні від некерованого випрямляча схеми рис.1 та використанні в режимі СД на номінальну потужність ця машина має низьку перевантажну здатність (близько 1.1), через що вона й розглядалася як резервний варіант у порівнянні з класичним СД. Вказана особливість обумовлена порівняно малим зазором (в 2-4 рази меншим, ніж в СД). Але в сучасних умовах за наявності надійних регульованих збудників, що забезпечують автоматичне компаундування (збільшення струму збудження) при зростанні струму статора, перевантажна здатність може бути підвищена короткочасно до 2, тобто до рівня, близького до АДКР. Разом з тим порівняно малий зазор САДФР

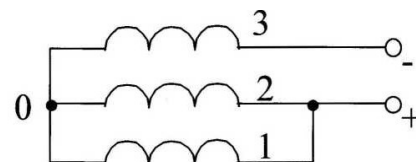


Рис 4. Схема вмикання фаз ротора в обмотку збудження (1,2,3 –контактні кільця)

забезпечує краще використання матеріалів та економію маси порівняно з СД на однакову номінальну потужність.

Отже застосування автоматичного регулювання збудження (АРЗ) дозволяє використовувати САДФР на його номінальну потужність в режимі АДФР. Перевага САДФР - у вищому на 4-5 % к.к.д., якщо реалізується АРЗ на підтримання  $\cos\phi=1$  при актуальних навантаженнях.

Основна проблема, що при цьому виникає, це міра вартості, складності та надійності системи АРЗ, яка будуватиметься на тиристорах. При потужностях двигуна 10-100 кВт вартість системи АРЗ сумірна з вартістю самого двигуна, а використання складних схем керування тиристорами приводить до зниження надійності і зростання витрат на обслуговування. Що ж до двигунів потужностей 100-200 кВт, то застосування АРЗ на тиристорах є економічно виправданим, оскільки вартість системи АРЗ не перевищує 40% вартості двигуна.

Для всього діапазону потужностей САДФР 10-200 кВт ми пропонуємо спрощені схеми живлення обмотки збудження безпосередньо від обмотки статора через некеровані вентиля (3,4) з використанням неповнофазних випрямлячів. Ці САДФР є аналогами відомих схем змішаного збудження, що використовуються для двигунів постійного струму. Компаундування забезпечується (рис.5) вмиканням обмотки збудження в коло обмотки статора, отже, при зростанні навантаження зростає струм статора, частина якого, замикаючись через вентиля протікає також через обмотку збудження. При низьковольтному живленні статора ( $U_n=380$  В) рівень ізоляції обмоток статора і ротора однаковий (нижче 100 В, отже електричне з'єднання цих обмоток є допустимим для всіх вказаних потужностей САДФР.

Звернемо увагу, що схема рис.5 не є схемою відомого простого компаундування, коли потужність в ОЗ надходить від стороннього джерела живлення. В схемі рис.5 здійснюється органічне компаундування, при якому струм збудження формується як внутрішній навантажувальний параметр в системі саморегулювання. Система при даному навантаженні встановлює такий струм збудження, при якому її внутрішня енергія (сумарні втрати) є мінімальною. Експеримент показує, що система підтримує  $\cos\phi$ , але дещо відстаючий, при якому к.к.д. найвищий з можливих при даному навантаженні, тобто в цій схемі САДФР здійснюється автоматично мінімізація втрат без застосування керованих вентилів.

Для двигунів потужністю 100-200 кВт може виявитись доцільною робота з випереджаючим  $\cos\phi$  (для підтримання номінального рівня напруги в мережі). В цьому разі схема живлення ОЗ може бути повнофазною, а один з вентилів замінюється на тиристор - для реалізації обмеженого діапазону керування струмом збудження. При цьому схема керування одним тиристором є спрощеною.

#### Застосування низьковольтних синхронних компенсаторів як елементів багатоцільового електропривода

В умовах сучасного інтенсивного розвитку малих і середніх підприємств, що живляться переважно від низьковольтних мереж, проблема компенсації реактивних струмів вирішується застосуванням низьковольтних засобів порівняно невеликої потужності (10 - 200 кВт).

При наявності синхронних двигунів (СД) на виробництві (приводи насосів, компресорів та ін.) є доцільним регулювати реактивну потужність змінного струму збудження СД. Такі приводи, в яких крім механічного навантаження задовольняються також інші потреби, назовемо багатоцільовими.

Компенсація реактивної потужності може здійснюватись також асинхронними двигунами з фазним ротором (АДФР) шляхом переведу їх у синхронний режим. При цьому АДФР як компенсатор на задану реактивну потужність буде мати менші розміри в порівнянні з класичним СД завдяки тому, що зазор АДФР у 2 - 2,5 рази менший, ніж в СД. Таким чином АДФР може бути застосований як багатоцільовий: а) асинхронний двигун; б) синхронний двигун (при необхідності); в) синхронний компенсатор (СК) При встановленні у виробничому приміщенні малого підприємства він також може бути використаний як джерело обігріву приміщення. Таке застосування електроприводів дозволить зменшити витрати електроенергії на виготовлення одиниці продукції.

Отже впровадження низьковольтних синхронних компенсаторів (НСК) може бути пов'язане з більш широким застосуванням для загально промислового електроприводу СД та АДФР на потужності від 10 до 100 кВт і більше. Застосування АДФР в синхронному режимі потребує спеціального розгляду. Це пов'язано по-перше з формуванням схеми обмотки збудження (ОЗ) з трьох фаз обмотки ротора, по-друге, з вибором раціонального типу збудження для живлення ОЗ постійним струмом. Вибір схеми ОЗ обґрунтовано [1] з урахуванням наявності пускового контуру з двох фаз на роторі.

Отже для схеми ОЗ раціонально прийняти паралельно- послідовне з'єднання фаз трифазної обмотки ротора, подане на рис.4.

Реальні схеми роторних обмоток дозволяють в цій схемі забезпечити для НСК магніторухливу силу на рівні номінальної м.р.с. в режимі АДФР. Контур із двох фаз рис 1 забезпечує також належне демпфування в режимі НСК. При потужностях 10 - 100 кВт схема збуджувача і схема АРЗ повинні бути по

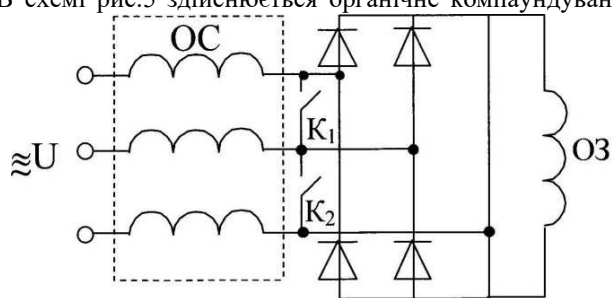


Рис. 5. Схема синхронізованого асинхронного двигуна з фазним ротором, ОС –обмотка статора, ОЗ –обмотка збудження, К1,К2 –контакти пускового контактора

можливості простими і надійними в експлуатації. Таким вимогам відповідають збуджувані на тиристорних підсилювачах. Найбільша потужність збудників для НСК знаходиться в межах 0,5 - 3 кВт, номінальна напруга 03 10 - 60 В.

Найпростішими схемами випрямлення є однофазні, безтрансформаторні. Однак при напрузі мережі 380/220 В в таких схемах тиристири працюють в зарегульованому режимі, при цьому струми збудження будуть перервними через великі пульсації, що викличе значні додаткові втрати в машині.

Тому напівпровідникові збуджувачі НСК доцільно будувати з узгоджувальним трансформатором.

За основу для збуджувача приймемо однофазну випрямну схему з диференціальним трансформатором (ДТ) (з нульовою точкою). Вона містить мінімально можливу кількість силових вентилів, що при охолодженні без обдуву є її перевагою перед однофазною мостовою схемою випрямлення.

Схема збуджувача показана на рис 6.

При живленні 03 від такого збудника пульсації струму збудження в робочому режимі не перевищують 10%, що не викликає помітного збільшення витрат НСК [2]. Перевага схеми з ДТ і в тому, що при роботі на 03 для реалізації АРЗ достатньо застосовувати один тиристор Т, другий вентиль Д може бути перерегульованим. При цьому завдяки значній величині індуктивності 03 забезпечується регулювання струму збудження від 0,3 до 1,5 номінального. Вторинні обмотки збуджувача рис 6 підключенні наглухо до 03. Тиристор Т<sub>ш</sub>, що шунтує 03, пропускає зворотну півхвилю змінного струму, що протікає в обмотці збудження при пуску та ресинхронізації. Прямая хвиля протікає через вентиль Д і тиристор Т (для формування пускового моменту необхідно, щоб струм в 03 при пуску був змінним). Після закінчення пуску (або ресинхронізації) струм >керування Т<sub>ш</sub> переривається кремнієвим стабілітроном КС, після цього Т<sub>ш</sub> повинен закритися. Для забезпечення закривання Т<sub>ш</sub> застосована несиметрична схема розміщення обмоток ДТ, в якій опори розсіювання вторинних обмоток х<sub>а</sub> та х<sub>в</sub> неоднакові. Приймемо, що х<sub>а</sub> < х<sub>в</sub>. Тоді E<sub>2a</sub> > E<sub>2в</sub>, бо взаємна індуктивність між первинною обмоткою ДТ і вторинною фазою а більша, ніж з фазою в вторинній обмотки.

При великій індуктивності 03 струм вентиля, що вступає в дію [3] в режимі комутації вентилів визначається:

$$i_a = \frac{2\sqrt{2}E_{2a}}{X_a + X_b} \tag{17}$$

Струм вентиля, що закінчує роботу в режимі комутації

$$i_b = I_d - \frac{2\sqrt{2}E_{2в}}{X_a + X_b} \tag{18}$$

В не комутаційному інтервалі випрямлена напруга U<sub>d</sub> на затисках 03 визначається ділянкою кривої вторинної напруги I<sub>2a</sub> або I<sub>2в</sub>. В період комутації вентилів напруга фази, що вступає в роботу

$$U_{da} = I_{2a} - \frac{X_a}{\omega} \times \frac{\partial i_b}{\partial t} \tag{19}$$

Рівняння (19) складемо для лівого контуру схеми заміщення рис 8. Аналогічно для правого контуру:

$$U_{da} = I_{2a} - \frac{X_b}{\omega} \times \frac{\partial i_b}{\partial t} \tag{20}$$

Сумарна напруга на навантаженні (03)

$$U_d = (U_a + U_{db})/2 \tag{21}$$

Підставимо i<sub>a</sub> та i<sub>b</sub> з (19) та (20) в (21)

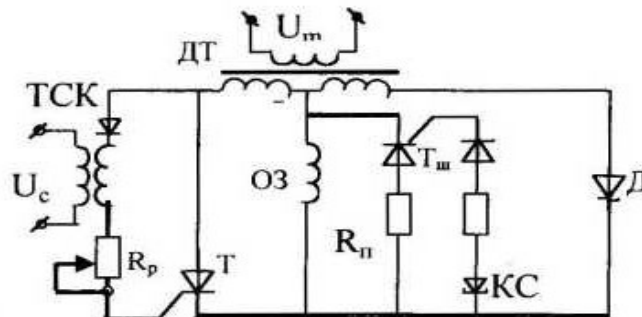


Рис.6 Принципова схема збудника  
ДТ – диференціальний трансформатор; Т – тиристор; 03 – обмотка збудження; Т<sub>ш</sub> – шунтовий тиристор; R<sub>n</sub> – пусковий опір; R<sub>p</sub> – регулювальний опір; Д – діод силовий; КС – кремнієвий стабілітрон; ТСК – трансформатор сигналу керування.

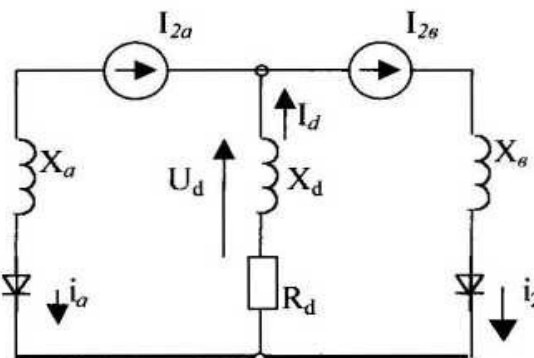


Рис. 7. Схема заміщення робочого кола збудника в режимі комутації вентилів X<sub>a</sub> та X<sub>в</sub> – приведені індуктивні опори розсіювання вторинних обмоток трансформатора; X<sub>в</sub> та R<sub>d</sub> – індуктивний та активний опори обмотки збудження НСК.

$$U_d = \frac{1}{2} \left( 1_{2a} - \frac{x_a}{\omega} \times \frac{\partial i_b}{\partial t} - 1_{2b} - \frac{x_b}{\omega} \times \frac{\partial i_a}{\partial t} \right) \quad (22)$$

Підставимо  $i_a$  та  $i_b$  з (17) та (18) в (22), отримаємо:

$$U_d = \frac{1}{2} (1_{2a} - 1_{2b}) - \frac{x_a}{2\omega} \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{2\sqrt{2}E_{2a}}{x_a + x_b} (1 - \cos \omega t) \right] - \frac{x_b}{2\omega} \frac{\partial}{\partial t} \left[ I_d - \frac{2\sqrt{2}E_{2b}}{x_a + x_b} (1 - \cos \omega t) \right] \quad (23)$$

Після диференціювання в квадратних дужках рівняння (23)

$$U_d = \frac{1}{2} (1_{2a} - 1_{2b}) + \frac{\sqrt{2(x_b E_{2b} - x_a E_{2a})}}{x_a + x_b} \sin \omega t$$

Позначимо:

$$\frac{\sqrt{2(x_b E_{2b} - x_a E_{2a})}}{x_a + x_b} = A$$

Різниця взаємних індуктивностей первинної обмотки з фазами а і в вторинної - невелика тому  $E_{2a} \cdot E_{2b}$ , тоді як  $x_b$  значно більше за  $x_a$ , тому  $x_b E_{2b} > E_{2a} x_a$ , отже знак А - позитивний. Остаточо в період комутації напруга на ОЗ:

$$U_{dI} = \frac{1}{2} (1_{2a} - 1_{2b}) + A \sin \omega t \quad (24)$$

Через півперіод, коли  $i_a$  спадає, а  $i_b$  зростає

$$U_{dII} = \frac{1}{2} (1_{2a} - 1_{2b}) - A \sin \omega t \quad (25)$$

Розрахункові часові діаграми струму в тиристорі  $T_{ш}$  і напруги  $U_d$  подано на рис 8. При спаданні більшої напруги ( $1_{2a}$ ), як видно з формули (23) і діаграм рис 8 напруга  $U_d$  в інтервалі комутації  $\tau$  (рис 8) має від'ємний знак, який і забезпечує закривання тиристора  $T_{ш}$ . Сигнали зворотних зв'язків та сигнал управління подається на трансформатор ТУС і додаються на каналі управління тиристора Т.

На закінчення ще раз порівнюємо особливості батарей конденсаторів (БК) і низьковольтних синхронних компенсаторів (НСК) для компенсації реактивної потужності.

**Переваги БК**

1. Статичність, тобто відсутність рухомих частин;
2. Невеликі затрати активної потужності на виробництво реактивної потужності.

**Недоліки БК**

1. Посилення вищих гармонік в мережі;
2. Ступінчастість (приблизність) регулювання;
3. Інерційність керування (перемикання здійснюється після накопичення інформації");
4. Найявність значної кількості силових контакторів;
5. Складність схеми регулювання, обов'язкова наявність мікропроцесора;
6. Можливість вибухів конденсаторів (стреси персоналу);
7. Неможливість роботи в режимі споживання реактивної потужності.

**Переваги НСК**

1. Плавність і можливість неперервного керування;
2. Послаблення вищих гармонік в мережі;
3. Можливість роботи як в режимі генерації, так і режимі споживання реактивної потужності;
4. Можливість реагування на швидкоплинні процеси короткочасним збільшенням потужності, значно більшим за номінальну;
5. Простота схеми управління без використання мікропроцесора;
6. Можливість використання як джерела тепла (додатково).

**Недоліки НСК**

1. Значні затрати активної потужності на виробництво реактивної (близько 5 кВт на 1 ООкВАр);
2. Наявність рухомих частин.

Порівняння капітальних затрат для сучасних БК і НСК вказує на наявність паритету. Тому остаточний вибір засобу компенсації залежить від технічних вимог та можливостей вказаного вище багатопільового використання НСК.

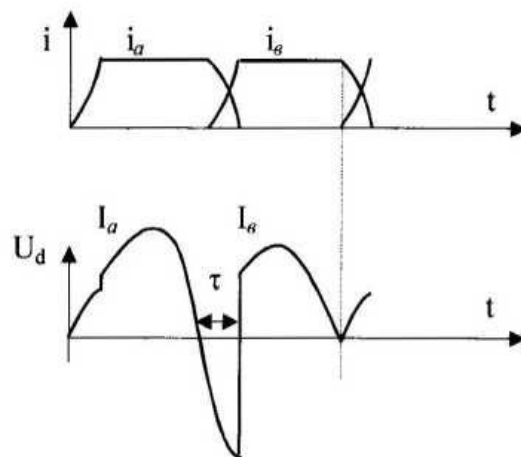


Рис. 8. Часові діаграми струму і напруги в ОЗ.

**Висновки та пропозиції**

1. Використання двигунів змінного струму з фазним ротором у синхронному режимі доцільно при номінальній потужності 25 - 100 кВт. Для забезпечення їх нормальної роботи номінальна потужність у синхронному режимі повинна бути знижена на 25 - 30% на відміну від асинхронного режиму, а також повинно бути застосовано автоматичне регулювання збудження для забезпечення стійкості при короткочасних перевантаженнях. Додаткові затрати компенсуються збільшенням к.к.д. двигуна на 1.5 - 2% та зменшенням втрат у мережі живлення.

Застосування запропонованих синхронізованих асинхронних двигунів з фазним ротором є частиною загальної альтернативи щодо заміни асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором більш економічними високонадійними двигунами.

2. Робота САДФР у багатьох технологіях агропромислового комплексу при швидкості, що на 5-6% перевищує робочу швидкість АДКР, забезпечує помітне збільшення продуктивності технологій або додаткову економію енергоспоживання при заданому обсязі виробництва (коли час вмикання двигуна зменшується на 5-6% у порівнянні з АДКР).

3. Запропонований синхронний компенсатор на базі АДФР з напівпровідниковим збуджувачем є простим і надійним засобом компенсації реактивної потужності.

4. Багатоцільове використання електроприводів дозволяє розширити сферу енергозберігаючих технологій.

**Література**

1. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода: Теорія та практика. Частина 1: навчальний посібник: Вінниця: ВНАУ, 2020. 388 с.
2. Попович М. Г. Теорія електропривода. Підручник / М. Г. Попович. – К: Вища школа, 1993. – 494 с.
3. Видмиш А.А., Бабій С.М., Петрусь В.В. Теорія електропривода курсове та дипломне проектування: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2012. 101 с.
4. Н.Р. Ипатенко Применение асинхронного двигателя с компаундированием в приводах с переменной нагрузкой. Вестник электропромышленности, 1979, №2.
5. И.М. Постников Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин. М.: Высшая школа, 1975.
6. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник/М. О. Остащевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с.
7. Логинов С.И. Всесоюзное совещание по регулированию возбуждения синхронных двигателей. Электричество, 1964, №7.
8. Безверхий С.О., Видмиш А.А., Каленська В.В. Энергопоказники фазных роторных обмоток асинхронных двигунів при живленні постійним струмом, Сб. научных трудов Кременчугского ГПИ “Проблемы создания новых машин и технологий”, Кременчуг, 1998, №1, - С. 47-50.
9. Видмиш А. А. Синхронізовані асинхронні двигуни з фазним ротором для енергозберігаючих технологій в агропромисловому комплексі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2019.- №1 (104). С. 84-88.
10. Безверхий С.О. Тиристорные возбудители маломощных асинхронных двигателей. Известия Минвуза СССР. Энергетика №7 1987 год с. 33-37
11. Синявський О. Ю. Електропривод: Навчальний посібник / О. Ю. Синявський, П. І. Савченко, В. В. Савченко, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Ю. М. Хондола, І. П. Ільчов. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.
12. Логинов С. И. Всесоюзное совещание по регулированию возбуждения синхронных двигателей / С. И. Логинов // Электричество, 1964. - №7. – С. 21 – 28.
13. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник для вузов / А. И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. - 832 с.
14. Копилов И. П. Справочник по электрическим машинам. В двух томах / И. П. Копилов, В. К. Клоков. – Том 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
15. Копилов И. П. Справочник по электрическим машинам. В двух томах / И. П. Копилов, В. К. Клоков. – Том 2. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
16. Домбровский В. В Основы проектирования электрических машин переменного тока / В. В. Домбровский, Г. М. Хуторецкий. – Л.: Энергия, 1974 — 504 с.
17. Офіційно: Нацкомісія з тарифів підвищила ціну на електроенергію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/12/28/632623/>.
18. Безверхий С. О. Энергозберігаючі альтернативні варіанти загальнопромислового електроприводу змінного струму / С. О. Безверхий, А. А. Видмиш // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Вестник ХГПУ, 2000. – №113. – С. 311 – 313.
19. Безверхий С. О. Энергозберігаючі синхронні двигуни для гірничої промисловості / С. О. Безверхий, А. А. Видмиш, О. А. Жуков // Вісник Національного технічного університету —Харківський політехнічний інститутІ. Збірка наукових праць. Тематичний випуск. – Харків: НТУ ХПІ, 2005. – №43. – С. 244 – 247.

20. Стаднік М. І. Проектування систем автоматизації з мінімальною надлишковістю / М. І. Стаднік // Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2017. – №2. – С. 167–172.

## References

1. Vidmish A. A., Yaroshenko L. V.. Osnovi elektroprivoda: Teoriya ta praktika. Chastina I: navchal'nij posi'bnik: Vi'nniczya: VNAU, 2020. 388 s.
2. Popovich M. G. Teoriya elektroprivoda. Pi'druchnik / M. G. Popovich. – K: Vishha shkola, 1993. – 494 s.
3. Vidmish A.A., Babi'j S.M., Petrus' V.V. Teoriya elektroprivoda kursove ta diplomne proektuvannya: navch. posi'b. Vi'nniczya: VNTU, 2012. 101 s.
4. N.R. Ipatenko Primenenie asinkhronnogo dvigatelya s kompaundirovaniem v privodakh s peremennoj nagruzkoj. Vestnik e'lektropromy'shennosti, 1979, #2.
5. I.M. Postnikov Obobshhennaya teoriya i perekhodny'e processy' e'lektricheskikh mashin. M.: Vy'sshaya shkola, 1975.
6. Elektrichni mashini i transformatori : navch. posi'bnik/M. O. Ostashevs'kij, O. Yu. Yur'yeva; za red. V. I. Mi'likh. – Kharkiv : FOP Panov A. M., 2017. – 452 s.
7. Loginov S.I. Vsesoyuznoe soveshhanie po regulirovaniyu vzbuzhdeniya sinkhronny'kh dvigatelej. E'lektrichestvo, 1964, #7.
8. Bezverkhij S.O., Vidmish A.A, Kalens'ka V.V. Energopokazniki faznikh rotornikh obmotok asinkhronnikh dviguni'v pri zhivlenni' postijnim strumom, Sb. nauchny'kh trudov Kremenchugskogo GPI “Problemy' sozdaniya novy'kh mashin i tekhnologij”, Kremenchug, 1998, #1, - S. 47-50.
9. Vidmish A. A. Sinkhroni'zovani' asinkhronni' dviguni z faznim rotorom dlya energozberi'gayuchikh tekhnologij v agropromislovomu kompleksi'. Tekhni'ka, energetika, transport APK. 2019.- #1 (104). S. 84-88.
10. Bezverkhij S.O. Tiristorny'e vzbuditeli malomoshny'kh asinkhronny'kh dvigatelej. Izvestiya Minvuza SSSR. E'nergetika #7 1987 god s. 33-37
11. Sinyavs'kij O. Yu. Elektroprivod: Navchal'nij posi'bnik / O. Yu. Sinyavs'kij, P. I. Savchenko, V. V. Savchenko, Yu. M. Lavri'nenko, V. V. Kozir's'kij, Yu. M. Khondola, I. P. Il'yichov. – K.: Agrar Medi'a Grup, 2013. – 586 s.
12. Loginov S. I. Vsesoyuznoe soveshhanie po regulirovaniyu vzbuzhdeniya sinkhronny'kh dvigatelej / S. I. Loginov // E'lektrichestvo, 1964. - #7. – S. 21 – 28.
13. Vol'dek A. I. E'lektricheskie mashiny' : uchebnik dlya vuzov / A. I. Vol'dek. – L. : E'nergiya, 1978. - 832 s.
14. Kopilov I. P. Spravochnik po e'lektricheskim mashinam. V dvukh tomakh / I. P. Kopilov, V. K. Klovov. – Tom 1. – M.: E'nergoatomizdat, 1988. – 456 s.
15. Kopilov I. P. Spravochnik po e'lektricheskim mashinam. V dvukh tomakh / I. P. Kopilov, V. K. Klovov. – T om 2. – M.: E'nergoatomizdat, 1989. – 688 s.
16. Dombrovs'kij V. V. Osnovy' proektirovaniya e'lektricheskikh mashin peremennogo toka / V. V. Dombrovs'kij, G. M. Khutoreckij. – L.: E'nergiya, 1974 — 504 s.
17. Ofi'czi'jno: Naczkomisi'ya z tarifi'v pi'dvishhila czi'nu na elektroenergiyu [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/12/28/632623/>.
18. Bezverkhij S. O. Energozberi'gayuchi' al'ternativni' vari'anti zagal'nopromislovogo elektroprivodu zmi'nного strumu / S. O. Bezverkhij, A. A. Vidmish // Problemy' avtomatizirovannogo e'lektroprivoda. Teoriya i praktika. Vestnik KhGPU, 2000. – #113. – S. 311 – 313.
19. Bezverkhij S. O. Energozberi'gayuchi' sinkhronni' dviguni dlya gi'rnichoyi promislovosti' / S. O. Bezverkhij, A. A. Vidmish, O. A. Zhukov // Vi'snik Naczional'nogo tekhnichnogo uni'versitetu —Kharkiv's'kij poli'tekhnichnij i'nstitutl. Zbi'rka naukovikh prac'. Tematichnij vipusk. – Kharkiv: NTU KhPI, 2005. – #43. – S. 244 – 247.
20. Stadnik M. I. Proektuvannya sistem avtomatizaczi'yi z mi'ni'mal'noyu nadlishkovi'styu / M. I. Stadnik // Tekhni'ka, energetika, transport APK, 2017. – #2. – S. 167–172.

Рецензія/Peer review : 12.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНЕНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГРАВІТАЦІЙНОГО БЕТОНОЗМІШУВАЧА ШЛЯХОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Важливі завдання в галузі поліпшення якості випущених бетонних та залізобетонних виробів, підвищення рівня і темпів розвитку промисловості ставлять перед підприємствами серйозні вимоги в частині поліпшення техніко-економічних показників роботи, а також більш чіткої і раціональної системи експлуатації електрообладнання та забезпечення енергоощадних режимів.

У зв'язку з цим особливу важливість набувають питання ефективної експлуатації наявного обладнання, та поліпшення його технологічних характеристик.

З іншого боку вдосконалення і прискорення процесу будівельного виробництва, піднесення його на новий рівень можливо тільки при високій продуктивності і надійності функціонування відповідних технологічних ліній. При зростаючих міжнародних вимогах до якості виробничих процесів виникає необхідність його підвищення і стабілізації.

Для цього в даний час застосовуються високопродуктивні будівельні комплекси з необхідним рівнем якості технологічних операцій, які повинні бути пов'язані між собою як по продуктивності, так і по надійності елементної бази. Виходячи з цього наявність слабкого механізму (деталі), частіше за інших виходить з ладу і знижуючи тим самим надійність всієї лінії, неприпустимо в такому комплексі операцій.

В результаті зазначеного, заходи, спрямовані на забезпечення надійності елементів механічного обладнання технологічних ліній з виробництва будівельних матеріалів і виробів, мають вирішальне значення в даному питанні.

Крім того, важливим на даному етапі розвитку стає питання регулювання продуктивності технологічних процесів чи окремих їх операцій. Таке регулювання може забезпечити зменшення споживання електроенергії, покращити надійність роботи системи та забезпечити ефективну роботу електропривода з виробничим механізмом,

В роботі було досліджено динамічні та статичні режими роботи електропривода гравітаційного бетонозмішувача, розглянуто систему електропривода перетворювач частоти – асинхронний, як базовий варіант для досліджуваного об'єкту. Виконано моделювання розрахованої системи і побудовано динамічні характеристики. Оцінено стійкість і якість системи за частотними критерієм.

Ключові слова: електропривод, динамічні характеристики, гравітаційний бетонозмішувач, комп'ютерне моделювання, замкнена система.

A. A. VIDMYSH, A.A. SHTUTS  
Vinnytsia National Agrarian University

### INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A CLOSED SYSTEM OF ELECTRIC DRIVE OF A GRAVITY CONCRETE MIXER BY COMPUTER MODELING

Important tasks in the field of improving the quality of concrete and reinforced concrete products, increasing the level and pace of industrial development put serious demands on enterprises in terms of improving technical and economic performance, as well as a clearer and more efficient system of operation of electrical equipment and energy saving.

In this regard, the issues of efficient operation of existing equipment and improvement of its technological characteristics become especially important.

On the other hand, improving and accelerating the process of construction production, raising it to a new level is possible only with high productivity and reliability of the relevant technological lines. With growing international requirements for the quality of production processes, there is a need to increase and stabilize it.

To do this, currently used high-performance building complexes with the required level of quality of technological operations, which must be interconnected in terms of both performance and reliability of the element base. Based on this, the presence of a weak mechanism (part), more often than others fails and thus reducing the reliability of the entire line, is unacceptable in such a set of operations.

As a result, measures aimed at ensuring the reliability of the elements of mechanical equipment of technological lines for the production of building materials and products are crucial in this matter.

In addition, the issue of regulating the productivity of technological processes or their individual operations becomes important at this stage of development. Such regulation can reduce electricity consumption, improve system reliability and ensure efficient operation of the electric drive with the production mechanism.

The dynamic and static modes of operation of the electric drive of the gravitational concrete mixer were investigated, the system of the electric drive of the frequency converter - asynchronous, as a basic variant for the studied object was considered. Modeling of the calculated system is performed and dynamic characteristics are constructed. The stability and quality of the system by frequency criteria are evaluated.

Keywords: electric drive, dynamic characteristics, gravitational concrete mixer, computer modeling, closed system.

### Постановка проблеми

Робота електропривода гравітаційних бетонозмішувачів як правило визначається властивостями нерегульованого асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором. Характеристики двигуна не забезпечують сучасних вимог технологічного процесу, тому поліпшення роботи бетонозмішувачів через використання сучасних систем керування електроприводами є своєчасною та актуальною задачею.

У гравітаційних змішувачах перемішування здійснюється за рахунок вільного падіння матеріалу (рисунок 1. ).

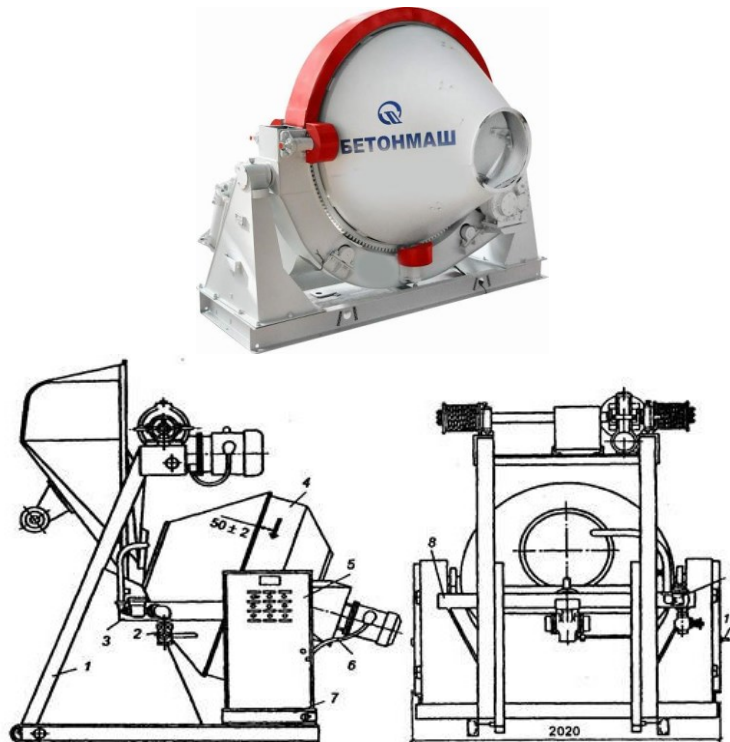


Рис. 1. Зовнішній вигляд гравітаційного бетонозмішувача

На рис. 1. 1 - направляюча; 2 - вододозувальна система; 3 - правий швелер в зборі; 4 - змішувач в зборі; 5 - дверцята електрошафи; 6 - електрообладнання; 7 - рама змішувача; 8 - лівий швелер в зборі; 9 - система водопостачання; 10 - ключ.

В примусових змішувачах є механічні органи змішування, які взаємодіють з компонентами суміші.

Гравітаційні циклічні бетонозмішувачі, в основному, мають грушоподібну форму і перекидаючий механізм розвантаження.

На стінках змішувальної ємності встановлені лопаті, які при обертанні чаші змішувача захоплюють матеріал і піднімають його вгору.

У верхній точці матеріал, падаючи з захоплюючих лопатей, викликає рух основної маси розчину.

Іншими словами, змішування основної маси відбувається від зіткнень порцій суміші захопленої лопатями.

Перемішування відбувається швидше при нахилі ємності, що обертається, а змінюючи при цьому кут нахилу ємності можна поліпшити якість змішування.

Вплив на якість одержуваних бетонів і розчинів теж має форма і кількість лопатей, кут нахилу ємності, швидкість обертання ємності змішувача.

До переваг гравітаційних змішувачів відносять:

- можливість приготування рухливих сумішей з крупним заповнювачем,
- швидке розвантаження змішувача, перекидаюча ємність – те, що неможливо реалізувати в примусових змішувачах з донними або секторними затворами,
- оптимальне відношення маси установки до робочого обсягу ємності змішувача,
- простота конструкції,
- висока надійність.

Але, тим не менш, гравітаційним змішувачам притаманні й серйозні недоліки.

Основні з них, це – низька універсальність і неможливість отримання однорідної жорсткої суміші.

Саме тому гравітаційні змішувачі здають свої провідні позиції, і все частіше замінюються примусовими змішувачами, які призначені для інтенсивної роботи у складі комплексів з виробництва товарного бетону і формувальних ліній.

Однак, якщо сучасні підприємства, на яких випускають бетонні вироби, практично всі відмовляються від гравітаційних змішувачів, на невеликих будівельних майданчиках з малими обсягами робіт, в разі приготування рухомого бетону, застосування гравітаційних змішувачів, поза всяких сумнівів, є просто необхідним.

Для покращення роботи системи електропривода необхідно дослідити динамічні характеристики системи електропривода гравітаційного бетонозмішувача шляхом комп'ютерного моделювання

## Аналіз об'єкту дослідження

Для забезпечення вимог технологічного процесу виготовлення бетону пропонується для керування електроприводом гравітаційного бетонозмішувача застосувати систему керування «перетворювач-частоти асинхронний двигун» (ПЧ-АД), замість релейно-контакторної системи.

Структурна схема системи електропривода наведена на рисунку 2.

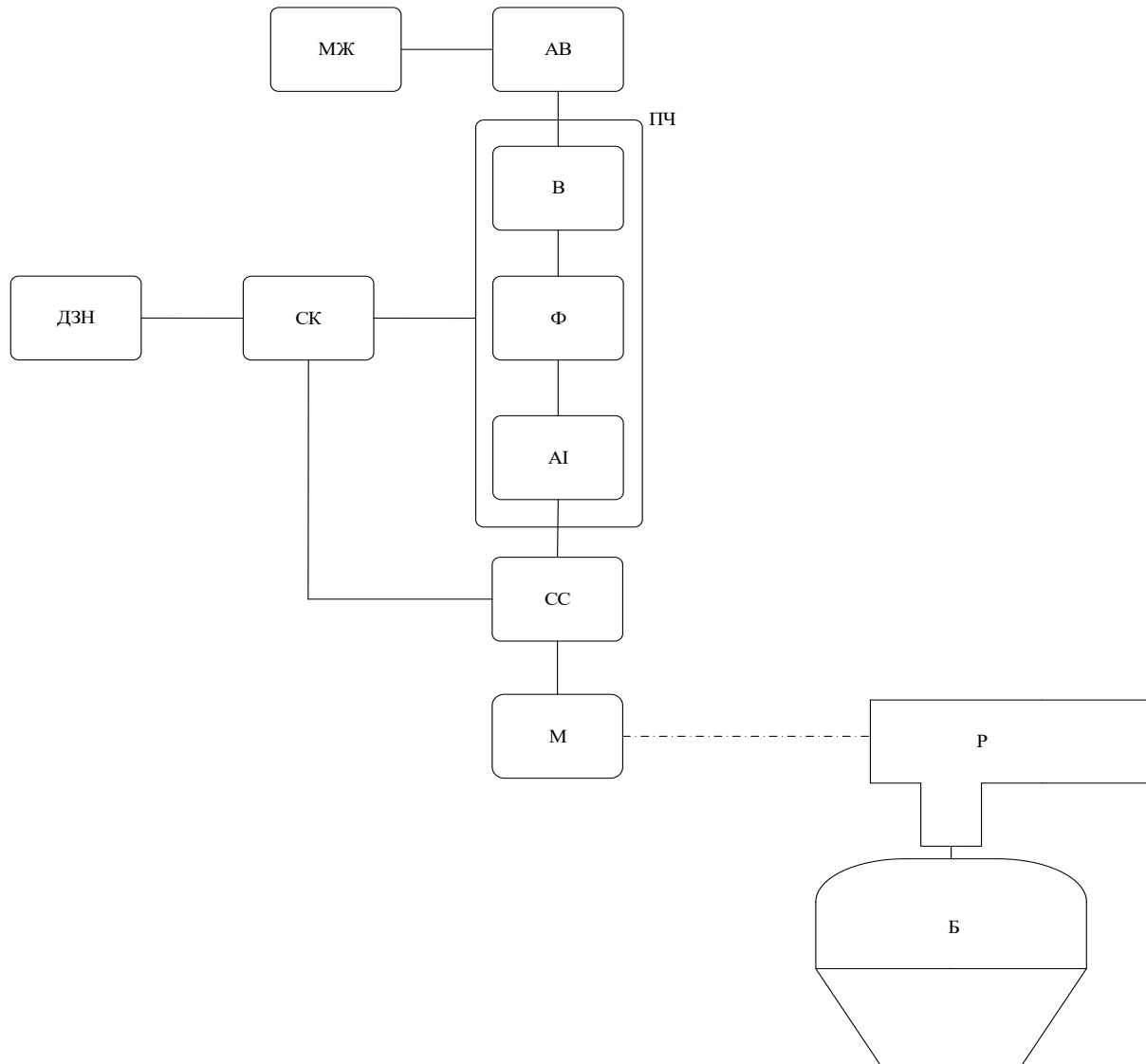


Рис. 2. Структурна схема електропривода бетонозмішувача

На рисунку 2 позначено: МЖ – мережа живлення; АВ – автоматичний вимикач; ПЧ – перетворювач частоти; В – випрямляч (регульований або нерегульований); Ф – індуктивно-ємнісний (в загальному випадку) фільтр; АІ – автономний інвертор (струму або напруги); ДЗН – джерело задавальної напруги; СК – система керування; СС – сенсор струму; М – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором; Р – редуктор бетонозмішувача; Б – барабан бетонозмішувача.

Сучасний перетворювач частоти, виконується або з використанням широтно-імпульсної модуляції випрямленої у нерегульованому випрямлячі напруги або за принципом векторного керування. У роботі розглянемо перший тип перетворювача частоти. Такий перетворювач складається з нерегульованого випрямляча, фільтра випрямленої напруги або струму та інвертора струму чи напруги.

На першому етапі перетворення напруга мережі випрямляється вхідним діодним мостом, потім згладжується і фільтрується.

На другому етапі перетворення з постійної випрямленої та відфільтрованої напруги формується набір імпульсів певної частоти. На виході частотного перетворювача видаються прямокутні імпульси, які за рахунок індуктивності обмоток статора двигуна інтегруються і перетворюються в напругу близьку до синусоїдальної.

Слід зазначити, що інвертор з ШІМ не тільки змінює частоту вихідної напруги, але і регулює її середнє значення, що дозволяє відмовитись від керуваного випрямляча і використовувати більш простий діодний випрямляч.

На рисунку 3 представлено силову частину схеми частотно-регульованого електропривода [12].

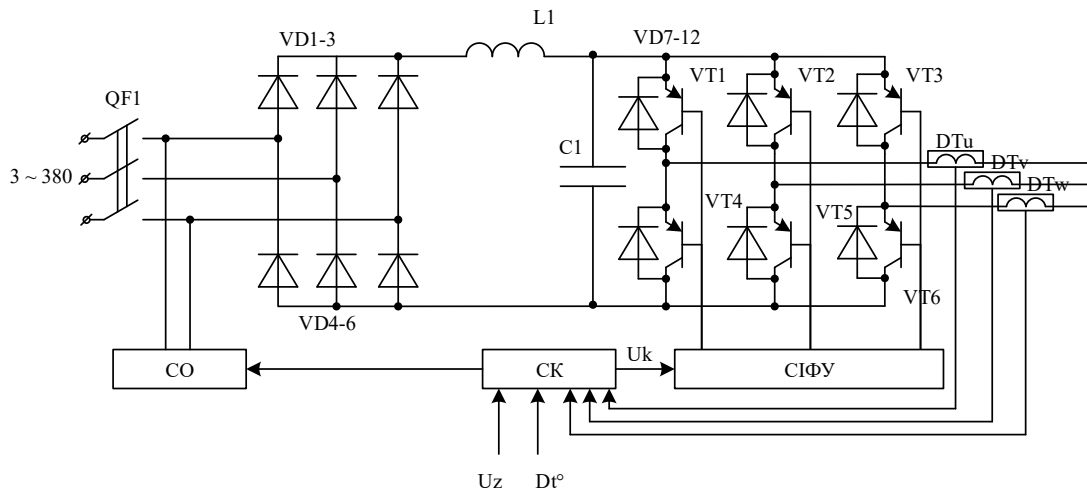


Рис. 3. Силова частина перетворювача частоти

Силова частина електропривода складається з некерованого випрямляча (VD1–VD6), ємнісного фільтра (C1), транзисторного автономного інвертора напруги (VT1–VT6), сенсорів струму (DT<sub>u</sub>, DT<sub>v</sub>, DT<sub>w</sub>), сенсора швидкості та двигуна [10]. На силовій схемі перетворювача частоти також зображено CO – систему охолодження; CK – систему керування перетворювачем; Dt – сенсор температури перетворювача; Uz – напруга задання; U<sub>k</sub> – напруга керування.

Частотні перетворювачі, зібрані за схемою на рис. 3, призначені для загальнопромислового виконання і забезпечують регулювання частоти обертання асинхронних двигунів серії 4А, АІР або інших асинхронних двигунів потужністю до 315 кВт в діапазоні частот від 1 до 100 Гц.

Електроприводи можуть працювати в режимі стабілізації частоти обертання при змінному навантаженні або стабілізації навантаження шляхом зменшення частоти обертання.

Функцію випрямлення в перетворювачі виконує некерований випрямляч, який зазвичай збирається за трифазною мостовою схемою [1-2]. Випрямлена напруга згладжується ємнісним фільтром. Ємність фільтра додатково виконує функцію накопичувача енергії, яка повертається електродвигуном у гальмівному режимі, і функцію реактивної провідності в колі зворотнього струму.

Застосування системи (ПЧ-АД), дозволить поліпшити як статичні так і динамічні характеристики електропривода, і як результат – загальну роботу бетонозмішувача.

**Виклад основного матеріалу**

Для комп’ютерного моделювання та дослідження динамічних характеристик замкненої системи електропривода необхідно створити модель системи електропривода.

*Побудова математичної моделі системи електропривода.*

На рисунку 4 наведено структурну схему електропривода, побудовану на основі лінеаризованої моделі асинхронного двигуна. На структурній схемі позначено: U<sub>zs</sub> – напруга задання струму, РС – регулятор струму, R<sub>s</sub>(p) – передавальна функція регулятора струму, ЛО – ланка обмеження сигналу на виході регулятора струму, ПЧ – перетворювач частоти, W<sub>f</sub>(p) – передавальна функція ПЧ, p<sub>1</sub> – 3,14, z<sub>p</sub> – кількість пар полюсів двигуна, АД – асинхронний двигун, W<sub>e</sub>(p) – передавальна функція електричної частини АД,

W<sub>m</sub>(p) – передавальна функція механічної частини АД, M<sub>c</sub> – момент навантаження, k<sub>s</sub> (k<sub>zss</sub>) – коефіцієнт зворотного зв’язку за струмом.

Регулятор струму РС з передавальною функцією R<sub>s</sub>(p) подає напругу на перетворювач частоти ПЧ через ланку обмеження ЛО; k<sub>h</sub> – коефіцієнт зворотного зв’язку по швидкості обертання; АД – структурна схема асинхронного двигуна, який представляється шляхом лінеаризації його механічної характеристики на робочій ділянці; M<sub>c</sub> – статичне навантаження[11].

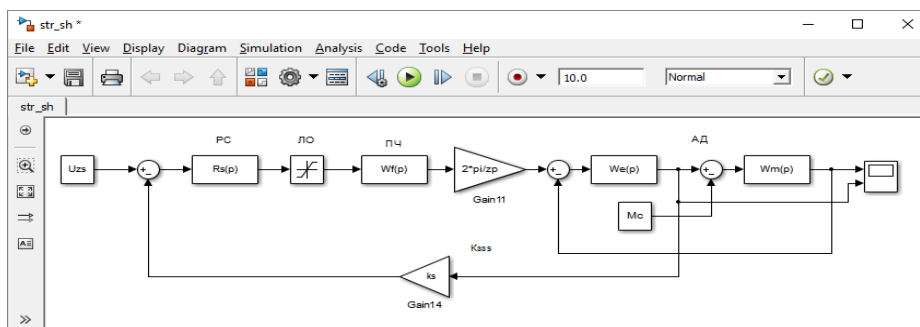


Рис. 4. Структурна схема

Для моделювання використовуємо лінеаризовану модель асинхронного двигуна.

Систему керування електроприводом будемо розраховувати за десятивольтною шкалою. Тобто задаюча напруга  $U_{zh.max} = 10$  (В). Ланка обмеження буде обмежувати сигнал на рівні  $\pm U_{zh.max}$ .

Перетворювач частоти представимо аперіодичною ланкою першого порядку

$$f = \frac{k_f}{T_f p + 1} U_k, \quad (1)$$

де  $f$  – частота на виході ПЧ, Гц;

$k_f$  – коефіцієнт підсилення ПЧ;

$T_f$  – стала часу ПЧ (прийmemo рівною 0,001 с)

$U_k$  – напруга керування, В.

Коефіцієнт підсилення ПЧ можна розрахувати за формулою

$$k_f = \frac{f_n}{U_{z.max}} = \frac{50}{10} = 5.$$

Передавальна функція електричної частини АД має вигляд:

$$W_e(p) = \frac{\beta}{T_e p + 1}, \quad (2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт жорсткості механічної характеристики АД;

$T_e$  – електромагнітна стала часу АД, с.

Коефіцієнт жорсткості розраховується за формулою:

$$\beta = \frac{2M_{kn}}{s_{kn} \cdot \omega_0}, \quad (3)$$

де  $\omega_0$  – частота обертання ідеального холостого ходу, рад/с. Розраховується за формулою:

$$\omega_0 = 0,1047 \cdot n_0, \quad (4)$$

$\omega_0 = 0,1047 \cdot 1000 = 104,72$  (рад/с);

$\beta = \frac{2 \cdot 70,374}{0,453 \cdot 104,72} = 2,97$  (Н·с/м·рад);

Електромагнітна стала часу розраховується за формулою:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_{kn}}, \quad (5)$$

$$T_e = \frac{1}{0,453 \cdot 104,72} = 0,021 \text{ (с)},$$

$$W_e(p) = \frac{2,972}{0,021p + 1}.$$

Коефіцієнт перетворення частоти напруги живлення у кутову швидкість ідеального холостого ходу розраховується за формулою:

$$\frac{2 \cdot \pi}{z_p} = \frac{2 \cdot 3,14}{3} = 2,094 \text{ (рад/с·Гц)}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом двигуна:

$$k_s = \frac{U_{z.max}}{M_{kn}}, \quad (6)$$

$$k_s = \frac{10}{70,374} = 0,142 \text{ (В·с/рад)}.$$

*Комп'ютерне моделювання системи електропривода.*

В пакеті прикладних програм (ППП) Matlab побудуємо комп'ютерну модель АД при пуску на навантаження, яке буде створюватися бетонозмішувачем. Це навантаження має циклічний характер з тривалістю циклу 3,24 с. Представимо комп'ютерну модель лінеаризованого АД на рисунку 5.

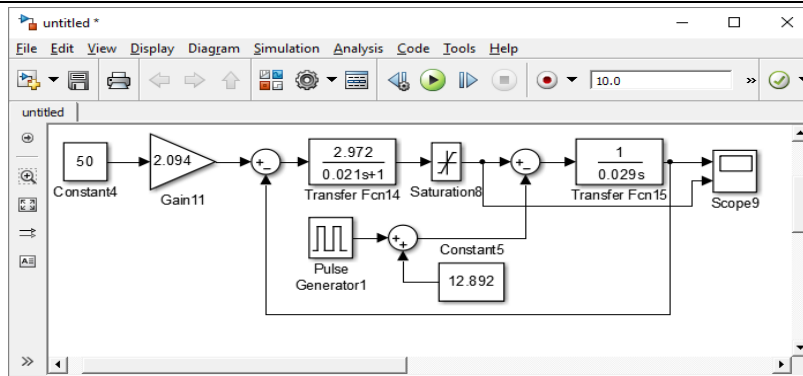


Рис. 5. Комп'ютерна модель АД при прямому пуску на циклічне навантаження, яке створюється бетонозмішувачем

На вхід комп'ютерної моделі АД подається номінальна частота напруги живлення 50 Гц. Навантаження у програмі створюється генератором прямокутних імпульсів. Елемент насичення Saturation 8 на комп'ютерній моделі виконує функцію обмеження електромагнітного моменту АД на рівні критичного.

Графіки перехідних процесів швидкості двигуна та його моменту при пуску двигуна на навантаження, що створюється бетонозмішувачем зображено на рисунку 6.

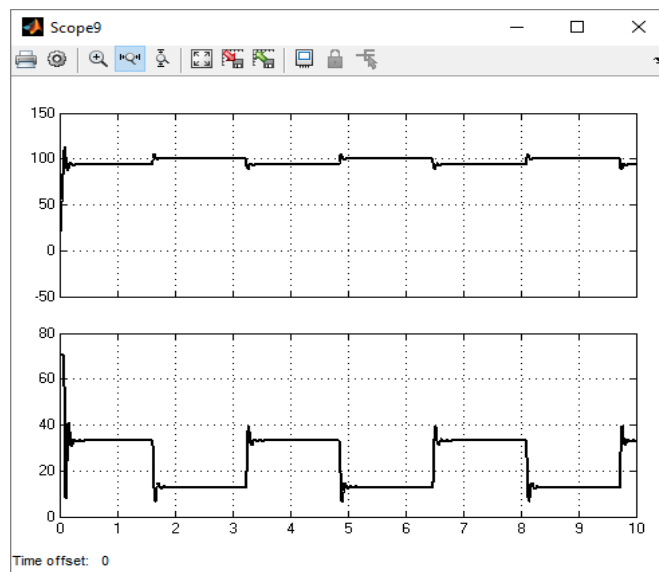


Рис. 6. Графіки перехідних процесів швидкості двигуна (зверху) та його моменту (знизу) при пуску двигуна на навантаження, що створюється бетонозмішувачем

Для побудови комп'ютерної моделі системи ПЧ-АД необхідно розрахувати параметри регулятора швидкості. Для цього налаштуємо контур швидкості на модульний критерій оптимальності, так як для запуску бетонозмішувача в побутових умовах не ставиться задача прискореного (швидкого) пуску. Розрахунок системи виконано в математичному пакеті Mathcad.

За результатами розрахунку системи, налаштованої на модульний критерій оптимальності, отримуємо такий регулятор струму:

$$R_s(p) = 0,09041 \cdot p + \frac{43,56}{p} - 0,00001132 \cdot p + 2,256 \cdot 10^{-8} \cdot p^2 - 4,53 \cdot 10^{-11} \cdot p^3 + 9,06 \cdot 10^{-14} \cdot p^4.$$

Оскільки, починаючи з третього доданку передавальної функції регулятора струму порядок чисел становить  $10^{-5}$  і продовжує далі збільшуватися, то цими доданками можна знехтувати. Отримуємо передавальну функцію регулятора струму

$$R_s(p) = 0,09041 \cdot p + \frac{43,56}{p}.$$

Таким чином, регулятор струму пропорційно-інтегральний.

В ППП Matlab побудуємо комп'ютерну модель системи ПЧ-АД при пуску на навантаження, яке буде створюватися бетонозмішувачем. Представимо комп'ютерну модель системи на рисунку 5.

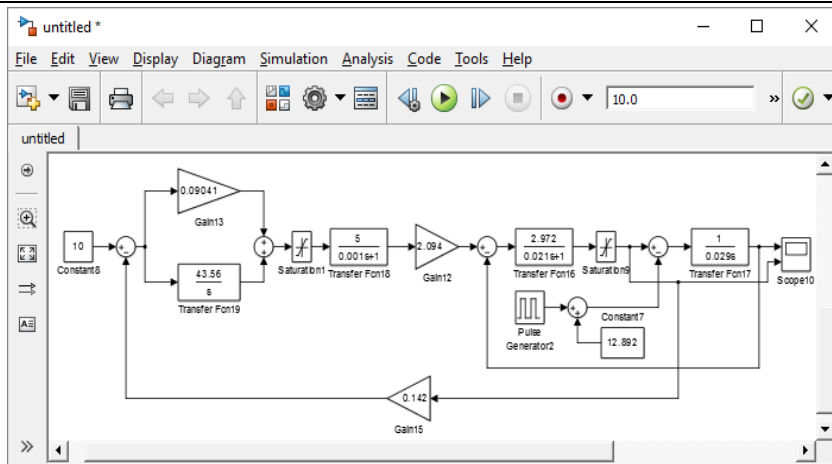


Рис. 5. Комп'ютерна модель системи ПЧ-АД при пуску на навантаження, яке буде створюватися бетонозмішувачем

На вхід системи подається лінійно наростаючий сигнал, який обмежується на значенні  $U_{z,max}$ . На виході регулятора встановлено ланку обмеження сигналу на рівнях  $\pm 10$  В.

Графіки перехідних процесів швидкості двигуна та його моменту при пуску системи ПЧ-АД на навантаження, що створюється бетонозмішувачем зображено на рисунку 6.

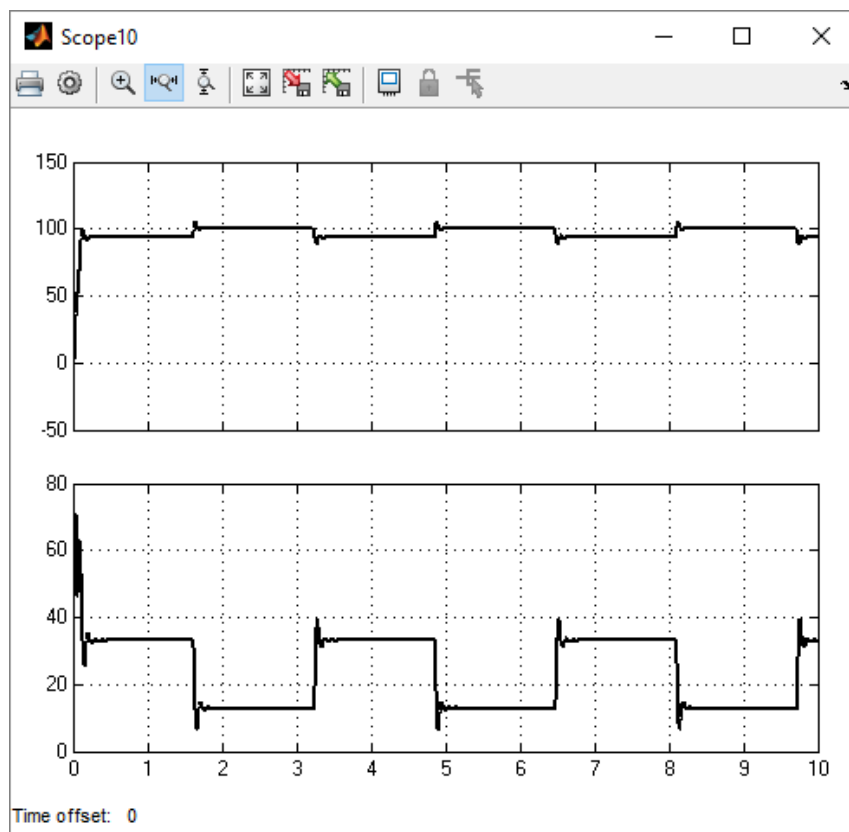


Рис. 6. Графіки перехідних процесів швидкості системи ПЧ-АД (зверху) та моменту двигуна (знизу) при пуску на навантаження, що створюється бетонозмішувачем

З графіків перехідного процесу видно, що система реагує на зміну навантаження наступним чином: при накиді навантаження, що створюється під час підняття матеріалів в барабані бетонозмішувача, швидкість електропривода зменшується, а при скиді навантаження – навпаки збільшується. Зменшення і збільшення швидкості незначне з врахуванням тієї обставини, що навантаження змінюється більше ніж у два рази[7-8].

Порівняємо результати комп'ютерного моделювання двигуна та системи ПЧ-АД між собою. Для цього побудуємо комп'ютерну модель, яка зображена на рисунку 7.

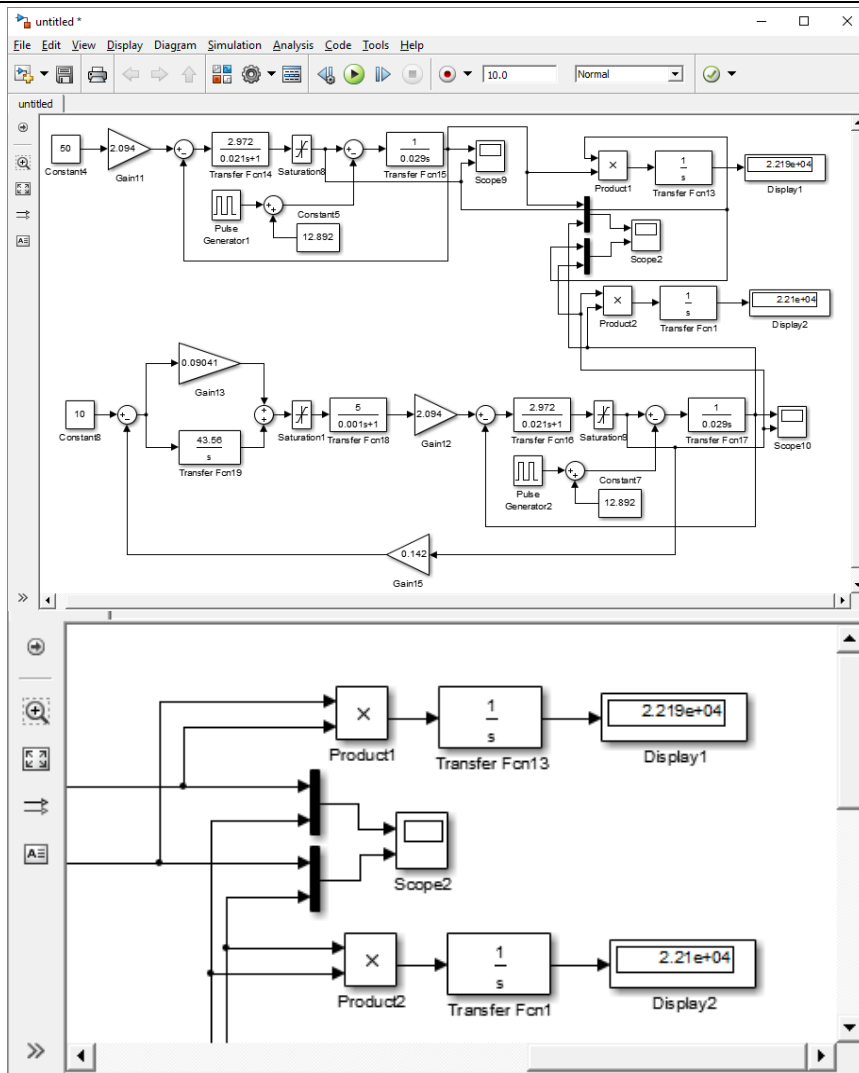


Рис. 7. Комп'ютерна модель двигуна та системи ПЧ-АД

Порівняння графіків перехідних процесів швидкості двигуна та його моменту при пуску на навантаження, що створюється бетонозмішувачем зображено на рисунку 8.

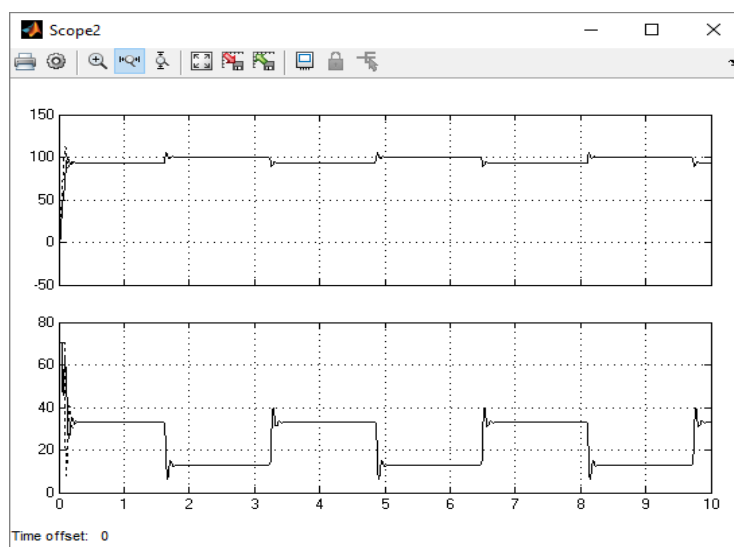


Рис. 8. Порівняння графіків перехідних процесів швидкості (зверху) та моменту двигуна (знизу) при пуску двигуна і системи ПЧ-АД на навантаження, що створюється бетонозмішувачем

На рисунку 9 розглянемо детальний процес розгону електропривода.

Порівняння графіків підтверджує, що система ПЧ-АД при розрахованому регуляторі швидкості та зворотному зв'язку за струмом двигуна працює з кращими показниками якості регулювання ніж при роботі без зворотних зв'язків.



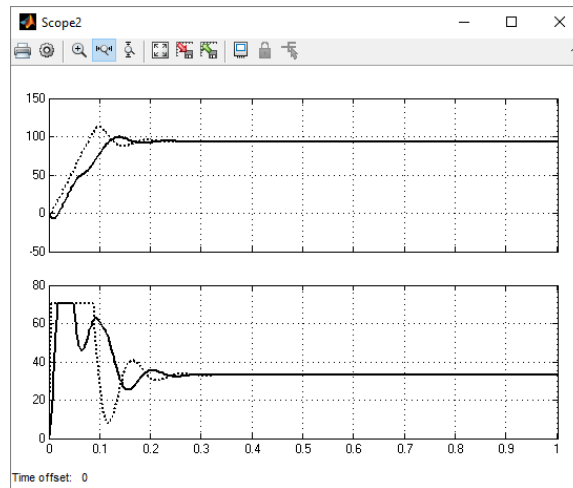


Рис. 9. Порівняння графіків перехідних процесів швидкості (зверху) та моменту двигуна (знизу) під час пуску двигуна і системи ПЧ-АД на навантаження, що створюється бетонозмішувачем

Кількість спожитої електроенергії двигуном та системою ПЧ-АД можна розрахувати за формулою:

$$E = \int M \cdot \omega \cdot dt, \quad (7)$$

де  $M$  – момент АД, Нм;  
 $\omega$  – швидкість обертання двигуна, рад/с.

На рисунку 9 реалізовано залежність у структурному вигляді. За результатами моделювання роботи електропривода протягом 10 с. отримано, що при роботі двигуна без зворотних зв'язків вартість спожитої енергії за 10 с. становить 22190 Вт., а при роботі у системі ПЧ-АД – 22100 Вт. Різниця у споживанні енергії становить 90 Вт на користь системи ПЧ-АД.

Отже система розрахована вірно. Вона відпрацьовує керуючу дію з добрими показниками якості і оскільки перехідні характеристики виходять на усталене значення, то можна стверджувати по те, що система стійка.

*Дослідження системи на стійкість та якість керування.*

В [11] представлено розрахунок регулятора швидкості системи ПЧ-АД. Маючи передавальну функцію регулятора швидкості можна знайти загальну передавальну функцію системи та дослідити її на стійкість та якість регулювання.

$$W(p) = \frac{879670}{p^2 + 500p + 125000}.$$

Введемо передавальну функцію системи в командну стрічку Matlab і виконаємо над нею перетворення «margin» так, як це показано на рисунку 9. В результаті виконання функції «margin» над загальною передавальною функцією системи електропривода отримаємо логарифмічну амплітудочастотну та фазочастотну характеристики. Представимо їх на рисунку 10.

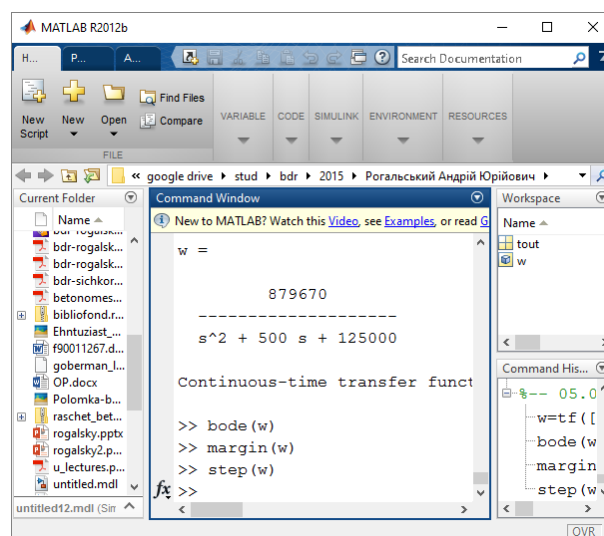


Рис. 10. Командна стрічка ППП Matlab при виконанні процедури побудови частотних характеристик системи, що описується передавальною функцією «W»

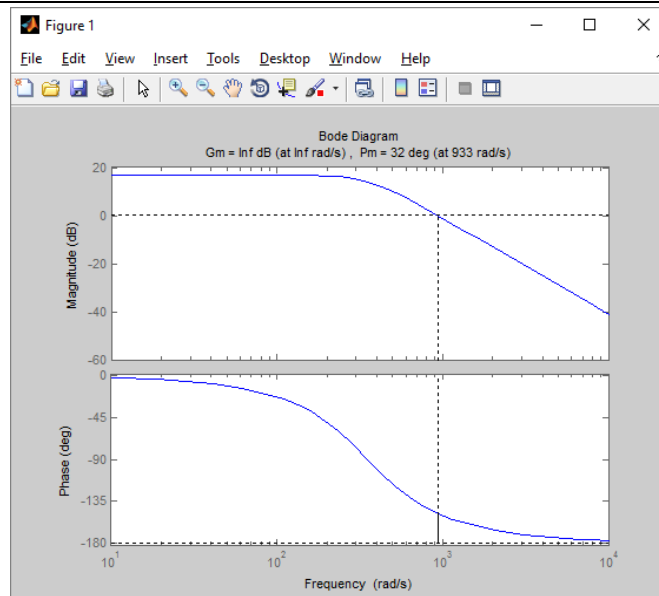


Рис. 11. Логарифмічна амплітудочастотна (зверху) та фазочастотна (знизу) характеристики системи

Оскільки частота зрізу менша за критичну частоту, то система буде стійкою. На частотних характеристиках, побудованих ППП Matlab, відразу знаходяться запаси стійкості по амплітуді та фазі. Таким чином, запас стійкості по амплітуді необмежений (inf), а по фазі 32 градуси.

Для побудови перехідної характеристики системи скористаємося функцією «Step» в ППП Matlab. Перехідну характеристику представимо на рисунку 12. Нанесемо на ній координати важливих точок.

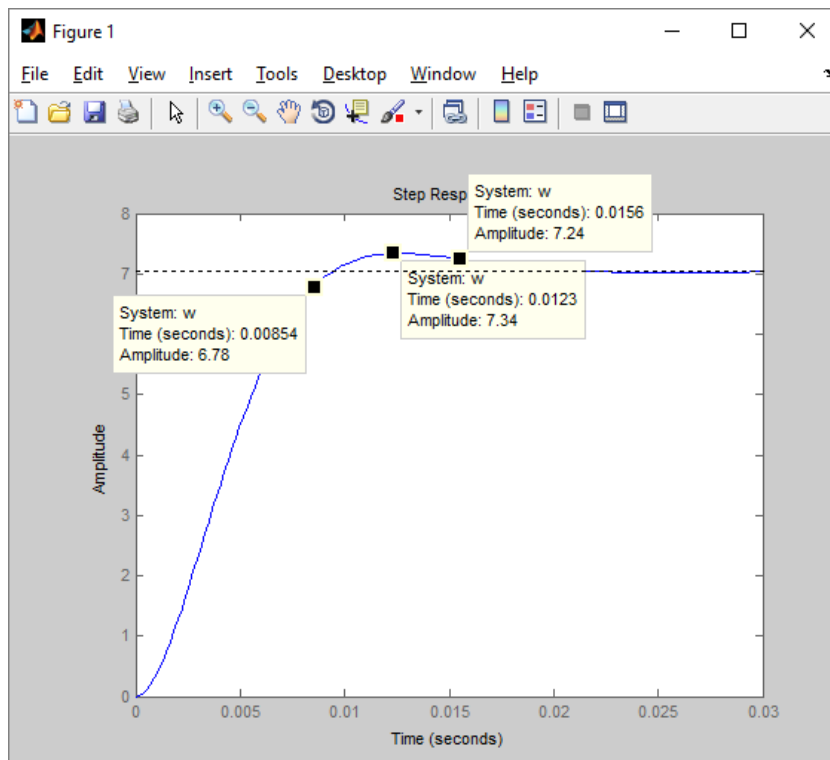


Рис. 12. Перехідна характеристика системи

З перехідної характеристики знайдемо величину переулювання.

$$\Delta X = \frac{7,34 - 7,04}{7,04} \cdot 100\% = 4,26\%$$

Час встановлення дорівнює 0,0085 с., а час регулювання – 0,0156 с. Таким чином тривалість перехідного процесу незначна, а система досить швидко виходить на усталене значення.

За показниками якості робимо висновок про те, що система буде якісною.

*Розробка схеми електричної принципової системи електропривода*

Схема електрична принципова представлена на рисунку 13

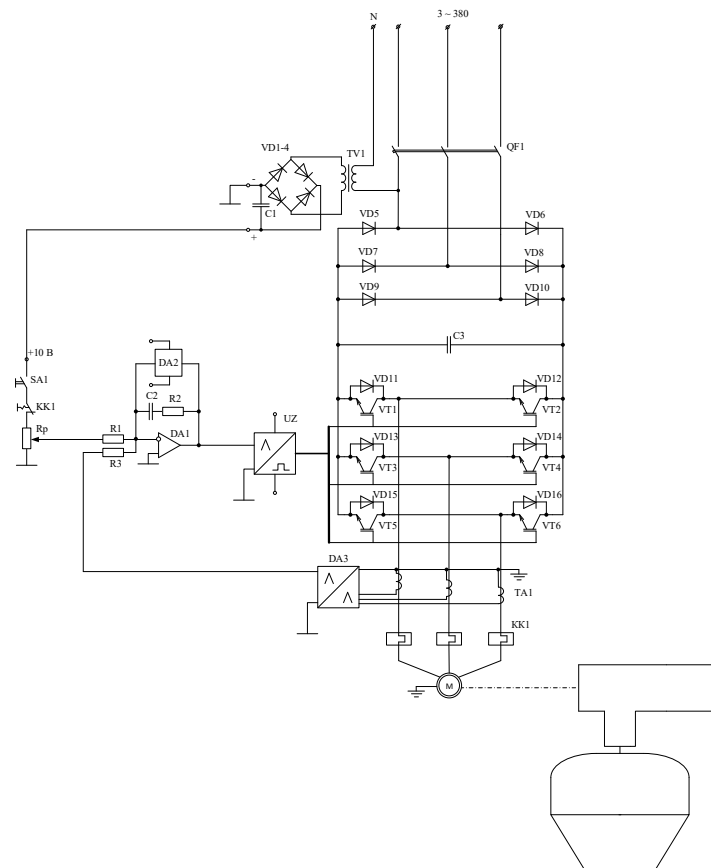


Рис. 13. Схема електрична принципова системи керування електропривода

На електричній-принциповій схемі позначено: N – нейтраль мережі живлення, 3~380 трифазна напруга 0,4 кВ, VD1-4 – діоди нерегульованого випрямляча живлення кола керування, TV1 – трансформатор напруги живлення кола керування, QF1 – триполосний автоматичний вимикач, C1 – ємність для згладжування пульсацій на виході випрямляча системи керування, VD5 – 10 – діоди нерегульованого випрямляча перетворювача частоти, C3 – згладжувальна ємність на виході випрямляча ПЧ, SA1 – перемикач, який подає напругу керування, KK1 – теплове реле, Rp – потенціометр, який регулює напругу керування, R1 – R3 – резистори регулятора струму, DA2 – блок обмеження напруги на виході регулятора струму, DA1 – аналогова мікросхема, на базі якої реалізується регулятор струму (операційний підсилювач), C2 – ємність регулятора струму, яка задає інтенсивність інтегруючої складової регулятора струму, UZ – аналогово-цифрова мікросхема, на основі якої реалізована система імпульсно-фазового керування інвертором напруги (драйвер інвертора), VD11 – 16 – діоди зворотного перетоку струму через транзистор у момент його закривання, VT1 – 6 – транзистори інвертора напруги, DA3 – сенсор струму (нормуючий перетворювач), TA1 – трансформатор струму, M – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором.

Для запуску системи необхідно подати напругу за допомогою автоматичного вимикача QF1 та подати напругу керування 10 В шляхом замикання SA1. При подачі напруги керування 10 В двигун буде обертатися з номінальною швидкістю. При зміні напруги нижче від 10 В буде зменшуватися швидкість обертання двигуна пропорційно до цієї зміни.

У якості аналогової мікросхеми DA1 використовується схема з двома операційними підсилювачами, один з яких виконує функцію інверсії. На базі іншого виконується пропорційно-інтегральний регулятор. Аналогова мікросхема DA2 виконує функцію обмежувача сигналу. Цифрова схема UZ виконує функцію СІФК.

Діоди VD5 – VD10 виконують функцію випрямлення однофазної змінної напруги. На їх основі виконано мостовий однофазний випрямляч.

Ємність C3 використовується для згладжування (стабілізації) напруги на виході нерегульованого випрямляча.

Біполярні транзистори VT1 – VT6 виконують функцію інверсування постійної напруги до трифазної змінної. Зустрічно до прямого каналу кожного з транзисторів включено шунтуючий діод, який виконує функцію захисту транзисторів при закриванні під час роботи на активно-індуктивне навантаження. Транзистори та шунтуючі діоди складають інвертор напруги.

Елементи (катушки) теплового реле KK1 виконують функцію захисту двигуна від перегріву. Під час перегріву теплове реле розмикає напругу керування 10 В.

Аналогова мікросхема DA3 виконує функцію перетворення сигналу струму в трьох фазах в аналоговий сигнал, придатний для роботи регулятора струму.

### Висновок

В роботі було досліджено динамічні та статичні режими роботи електропривода гравітаційного бетонозмішувача.

Розглянуто систему електропривода перетворювач частоти – асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором.

Виконано моделювання розрахованої системи і побудовано динамічні характеристики швидкості, моменту двигуна.

За результатами моделювання система працює якісно, відпрацьовує задаючий сигнал. Це підтверджує вірність виконаних розрахунків.

Систему електроприводу досліджено на стійкість за частотним критерієм. Побудовано логарифмічну амплітудно частотну та фазочастотну характеристики, за якими оцінено запаси стійкості системи. Запас стійкості по амплітуді необмежений.

### Література

1. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. Навчальний посібник: Вінниця: ВНАУ 2020. 388 с.
2. Видмиш А.А., Бабій С.М., Петрусь В.В. Теорія електропривода курсове та дипломне проектування. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ 2012. 101 с.
3. Корольов К. М. і Майорчук А. З., Бетономішалки та розчинозмішувачі. Каталог-довідник, М., 1961.
4. Драчев Г.И. Теория электропривода. КП. Челябинск. ЮУрГУ 2002. 138 с.
5. Грабко В.В., Розводюк М.П., Левицький СМ., Казак М.О. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. Вінниця. ВНТУ 2007.197 с.
6. PARTS777 - Система поиска и продажи запчастей для спецтехники и грузовиков. Строительная техника и спецтехника > Бетоносмесители - описание и устройство. Режим доступа: <http://www.parts777.ru/library/construction-equipment-articles/concrete-mixers/>.
7. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Київ. Либідь 1997. 544 с.
8. Електронна бібліотека. - Будівельне обладнання. Верстати. - Будівництво. Ремонт. - Будівельне обладнання. Верстати. Інструменти. - Принцип роботи бетонозмішувачів. Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/stanki-2/112.htm>.
9. Симаков Г.М. Системы управления электроприводами. Учеб, пособие по курсовому проектированию. Новосибирск. Изд-во НГТУ 2006.120с.
10. Лещинский А.В. Основы теории и расчета оборудования бетоносмесительных установок: Учебное пособие. - Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. – 112 с.
11. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Ю., Сисюк О.В. Моделювання електромеханічних систем. Підручник. Кременчук. 2001.376 с.
12. Перетворювач частоти. Каталог Altivar 28 фірми Schneider electric. URL: [http://files.imcsys.com/se/Q2cat\\_atv.28.pdf](http://files.imcsys.com/se/Q2cat_atv.28.pdf)
13. Асинхронні машини. URL: <http://locaШo5и/I:/Асинхронные%20двигатели%20серии%204А%20с%20короткозамкнуты%20м%20ротором.mht>
14. Стаднік М. І., Видмиш А. А., Штуць А. А., Колісник М. А.. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика. Навчальний посібник. Вінниця. Твори 2020. 301 с.

### References

1. A.A Vydmysh, L.V Yaroshenko, Fundamentals of electric drive. Theory and practice. Part textbook: Vinnytsia: VNAU 2020. 388 p. [Ukraine]
2. A.A. Vydmysh, S.M. Babnik, V.V Petrus Theory of the electric drive course and diploma design. Textbook. Vinnytsia: VNTU 2012. 101 p. [Ukraine]
3. Korol'ov K. M. i' Majorchuk A. Z., Betonomi'shalki ta rozchinoximi'shuvachi`. Katalog-dovi'dnik, M., 1961.
4. Drachev G.I. Electric drive theory. KP. Chelyabinsk. SUSU 2002. 138 p. [Russia]
5. Grabko VV, Rozvodyuk MP, Levitsky SM., Kazak MA Experimental studies of electric machines. Part III. Asynchronous machines. Textbook. Vinnytsia. VNTU 2007.197 p. [Ukraine]
6. PARTS777 - Sistemy poiska i prodazhi zapchastej dlya specztekhniki i gruzovikov. Stroitel'naya tekhnika i specztekhnika > Betonosmesiteli - opisanie i ustrojstvo. Rezhim dostupa: <http://www.parts777.ru/library/construction-equipment-articles/concrete-mixers/>.
7. Popovich M., Kovalchuk AV Theory of automatic control. Kyiv.Libid 1997. 544 p. [Ukraine].
8. Elektronna bi'bli'oteka. - Budi'vel'ne obladnannya. Verstaty. - Budi'vnicztvo. Remont. - Budi'vel'ne obladnannya. Verstaty. Instrumenty. - Pryncyp roboty betonozmishuvachiv. Rezhim dostupa: <http://www.bibliotekar.ru/stanki-2/112.htm>.
9. Simakov GM Electric drive control systems. Textbook, course design manual. Novosibirsk. NGTU Publishing House 2006.120p. [Russia]
10. Leshhinskij A.V. Osnovy' teorii i rascheta oborudovaniya betonosmesitel'ny'kh ustanovok: Uchebnoe posobie. - Khabarovsk: Izd-vo Khabar. gos. tekhn. un-ta, 1998. – 112 s.
11. Chemy AP, Lugovoy AV, Rodkin D.Yu., Sisyuk AV Modeling of electromechanical systems. A textbook. Kremenchug. 2001.376 s. [Ukraine]
12. Frequency converter. Catalog of Altivar 28 by Schneider electric. URL: [http://files.imcsys.com/se/Q2cat\\_atv.28.pdf](http://files.imcsys.com/se/Q2cat_atv.28.pdf) [Ukraine]
13. Asynchronous machines. URL: <http://locaШo5и/I:/Асинхронные%20двигатели%20серии%204А%20с%20короткозамкнуты%20м%20ротором.mht>. [Russia]
14. Stadnik NI, Vydmysh AA, piece AA, Kolesnik MA. Intelligent systems in electric power. Theory and practice. Textbook. Vinnytsia. Works 2020. 301 p. [Ukraine]

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ 300 МВт

Регулювання потужності енергоблоку 300 МВт є одним з найважливіших процесів в енергетиці, адже такі енергоблоки більш швидко можуть переходити від одного режиму роботи до іншого. Саме тому детальне вивчення залежності потужності котла від як внутрішніх так і зовнішніх факторів є одна з головних пріоритетних цілей в енергетиці на даний момент часу. І детальне вивчення впливу різних факторів на потужність, необхідно для більш точної побудови автоматизованої системи регулювання потужності енергоблоку. Адже знаючи властивості об'єкта то його реакцію на ті, чи інші фактори, буде більш легше підійти до формування більш оптимальної автоматизованої системи регулювання потужності. І саме тому до цього питання треба підходити дуже серйозно, адже від цього буде залежати стабільність роботи котлоагрегату та стабільність зміни потужності в залежності від впливу зовнішніх та внутрішніх факторів. Було розглянуто основні принципи регулювання самого енергоблоку 300 МВт та видані поради до найбільш кращого та швидшого способу регулювання даного об'єкта. Досліджено основні властивості енергоблоку, його вхідні параметри, збурення та вихідні параметри. Побудована за параметричною схемою математична модель яка в подальшому дозволить проводити дослідження по застосуванню різних автоматичних систем регулювання. Розглянуто застосування різних автоматичних систем регулювання на даному об'єкті та зроблені висновки по ефективності застосування різних систем регулювання. Зроблено порівняння між різними видами систем регулювання та винесені висновки по ефективності застосування даних систем регулювання на енергоблок 300 МВт. Виявлені основні переваги та недоліки використаних систем регулювання та вибраний самий ефективний спосіб регулювання а також виявлено найбільш ефективну автоматичну систему регулювання.

Ключові слова: витрата води, витрата палива, автоматизована система регулювання, котлоагрегат, потужність.

E.O. STARCHENKO

Odessa National Polytechnic University

## AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE 300 MW POWER UNIT

Adjusting the power of a 300 MWt unit is one of the most important processes in the power industry, as such units can more quickly transition from one mode of operation to another. That is why a detailed study of the dependence of boiler capacity on both internal and external factors is one of the main priority goals in the energy sector at this time. And a detailed study of the influence of various factors on power is necessary for a more accurate construction of an automated system for regulating the power of a power unit.

Because knowing the properties of an object, its response to certain factors or other factors will make it easier to come up with a more optimized automated power control system. And that is why this issue must be taken very seriously, because it will depend on the stability of the boiler and the stability of power changes, depending on the influence of external and internal factors. In this work the emphasis was placed on two parameters. Namely fuel consumption and water consumption.

These parameters were chosen, because they are more important for this facility, because they will make a more significant contribution to the change of capacity of the boiler. With these two channels of regulation, it is possible to investigate this object in great detail and to draw more detailed conclusions about its operation. And from these conclusions, and more precisely taking into account them, to develop new automated power management systems for the power blog.

And it is these automated power management systems that will be more optimal for this facility, as they will be developed on the power change properties that will be considered in this work.

Optimality should mean the following: it is a smoother, but faster switching of power of a power unit, depending on the change of one or another parameter. And in this work, the most important factors that affect power are taken into account. The basic principles of regulation of the 300 MW power unit itself were considered and advice was given on the best and fastest way to regulate this facility. The main properties of the power unit, its input parameters, perturbations and output parameters are investigated. The mathematical model which is further allowed to carry out researches on application of various automatic control systems is constructed according to the parametric scheme. The application of different automatic control systems at this facility is considered and conclusions are made on the effectiveness of different control systems. A comparison is made between different types of control systems and conclusions are made on the efficiency of application of these control systems per 300 MW power unit. The main advantages and disadvantages of the used control systems are revealed and the most effective method of regulation is chosen and also the most effective automatic control system is revealed.

It is investigated which automatic control systems can be applied to this type of object and conclusions are made regarding the use of the control system selected as a result of the research. Emphasis is placed on the fact that the use of the selected automatic control system during the study will allow more efficient management of processes in the unit. Necessary explanations are made as to why this particular system of regulation is used and why its analogues do not currently have the same effective effect as the one selected as a result of the study.

Keywords: water consumption, fuel consumption, automatic control system, boiler unit, power.

**Постановка проблеми.** Проблема в цій статті піднімається наступна: майже немає в наявності відкритих джерел інформації про автоматизовані системи регулювання ( в наступному АСР) енергоблоків 300 МВт, не дивлячись на те, що в Україні на сьогоднішній день, враховуючи як ТЕС так і ТЕЦ, які працюють на даний момент, нараховується 36. І саме в цьому полягає проблема на даний момент. Є невелика кількість джерел які в повну міру могли описати АСР енергоблоків 300 МВт які саме і застосовуються як на ТЕС, так і на ТЕЦ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізуючи усі джерела інформації, на дану тематику, у відкритому доступі мала кількість публікацій, на дану тематику. Є лише невеликі фрагменти які в тій чи

іншій мірі описують суть цієї теми. А саме були вивчені матеріали таких авторів: Плетньов, Демченко, Волошниченко, Медведєв, Озерова. Хоч дослідження по даній тематиці велись и ведуться, але на даний момент саме у відкритому доступі інформації не вистачає для повної картини, яка б показала наскільки дана тема досліджена. Саме тому, так як саме кафедра комп'ютерних технологій автоматизації спеціалізується на даній тематиці, все необхідні матеріали для дослідження були взяті у викладачів кафедри.

**Постановка завдання.** Дослідити вплив зміни витрати палива та витрати води на потужність енергоблоку 300 МВт.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для початку треба зрозуміти наступне: теплова електрична станція (ТЕС) – це сукупність установок, які перетворюють хімічну енергію палива на теплову на електричну. Основне призначення електричних станцій – забезпечення електричною енергією підприємств промислового і сільськогосподарського виробництва, комунального господарства і транспорту.

Сучасна ТЕС – це складне підприємство, яке включає в себе велику кількість різного устаткування (теплосилового, електричного, електронного, тощо) і будівельних конструкцій. Основним устаткуванням ТЕС є котельня і теплосилова установка. За типом теплосилової установки (теплого двигуна) теплові електричні станції бувають: паротурбінні (основний вид електростанцій), газотурбінні і парогазові ТЕС, а також електростанції з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ). [5, с.56]

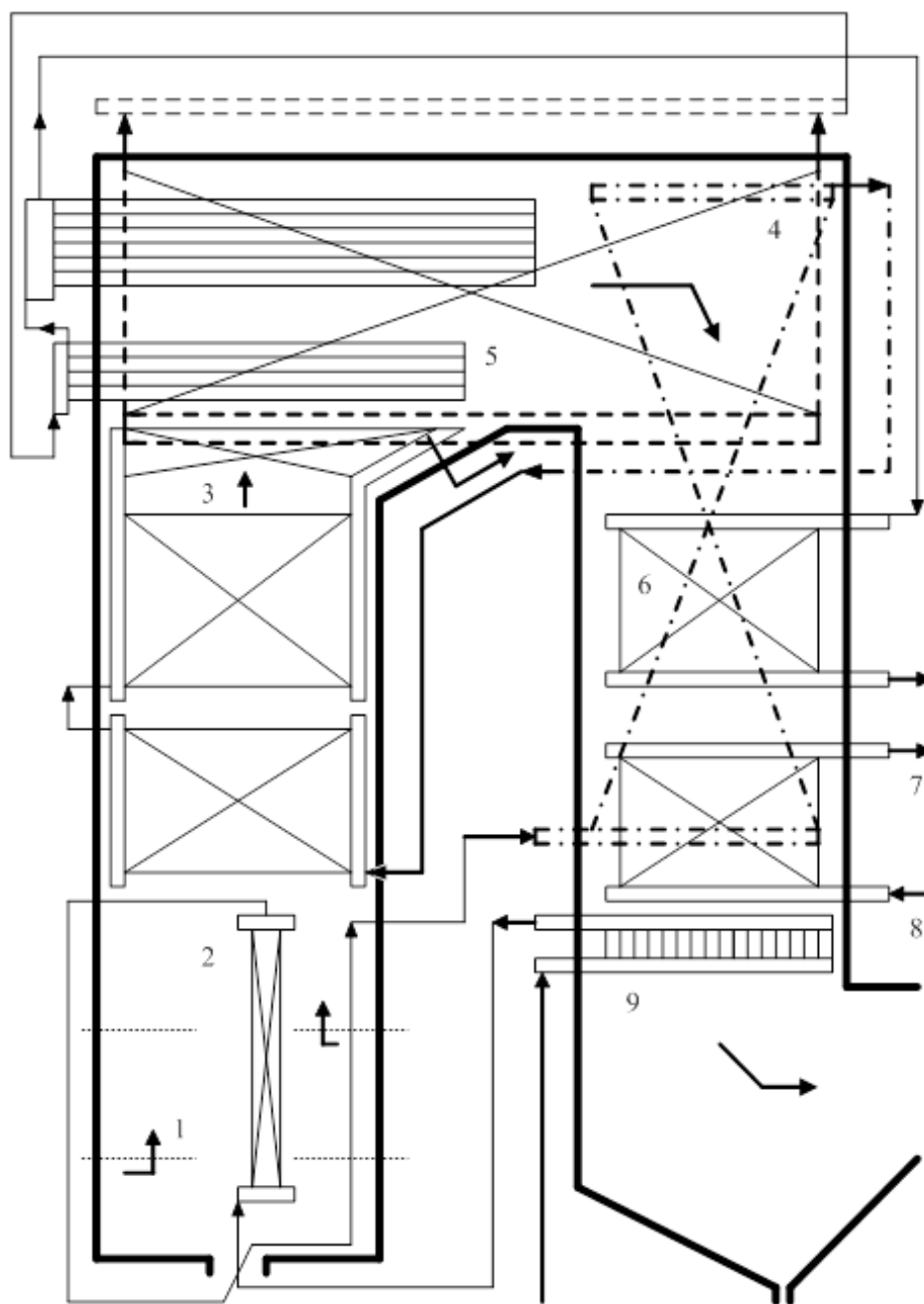


Рис. 1. Компонівка прямооточного парового котла ТГМП – 314.

1 – газомазутні пальники; 2 – екрани стін і пода НРЧ; 3 – екрани стін СРЧ; 4 – екрани стін ВРЧ;  
5 – ширмовий пароперегрівач; 6 – конвективний пароперегрівач; 7 – вихід перегрітого пару надкритичного тиску;  
8 – вхід вторинного перегрітого пару; 9 – економайзер

Теплові електростанції 300МВт поширені і затребовані насамперед через принцип роботи, адже вони працюють при пікових навантаженнях в режимі різко змінних значень потужності. Тому дана робота є актуальною в даний час.

В якості об'єкту для АСР, буде виступати прямоточний котел типу ТГМП-314. Розрахований на спалювання мазуту і природного газу. Призначений для перегріву пари і роботи в блоці з паровою турбіною К-300-240 ЛМЗ потужністю 300 МВт. Котлоагрегат виконаний однокорпусним в П-подібному компонованні, з винесеними з-під котла РВП, розміщеним поза головним корпусом. [1, с.250]

Конструкція котла ТГМП-314 представлена на Рис. 1.

Тепер після компоновки котла, все таки перейдемо до його математичної моделі.

Передавальні функції каналу управління і збурення енергоблоку представлені в Таблиці 1.

Таблиця 1

Передавальні функції збурень енергоблоку		
	U1(B)	U2(W)
Y1(T)	$\frac{2,89 * (1 + 46,2s)}{(1 + 37.8s)^3 * (1 + 74.2s)}$	$\frac{-2.97}{(1 + 98.5s)^2}$
Y2(N)	$\frac{2,48 * (1 + 33.48s)}{(1 + 35.64s)^4}$	$\frac{1.52 - 480s}{(1 + 240s)^2}$

Технологічна схема енергоблоку, представлена на Рис.2

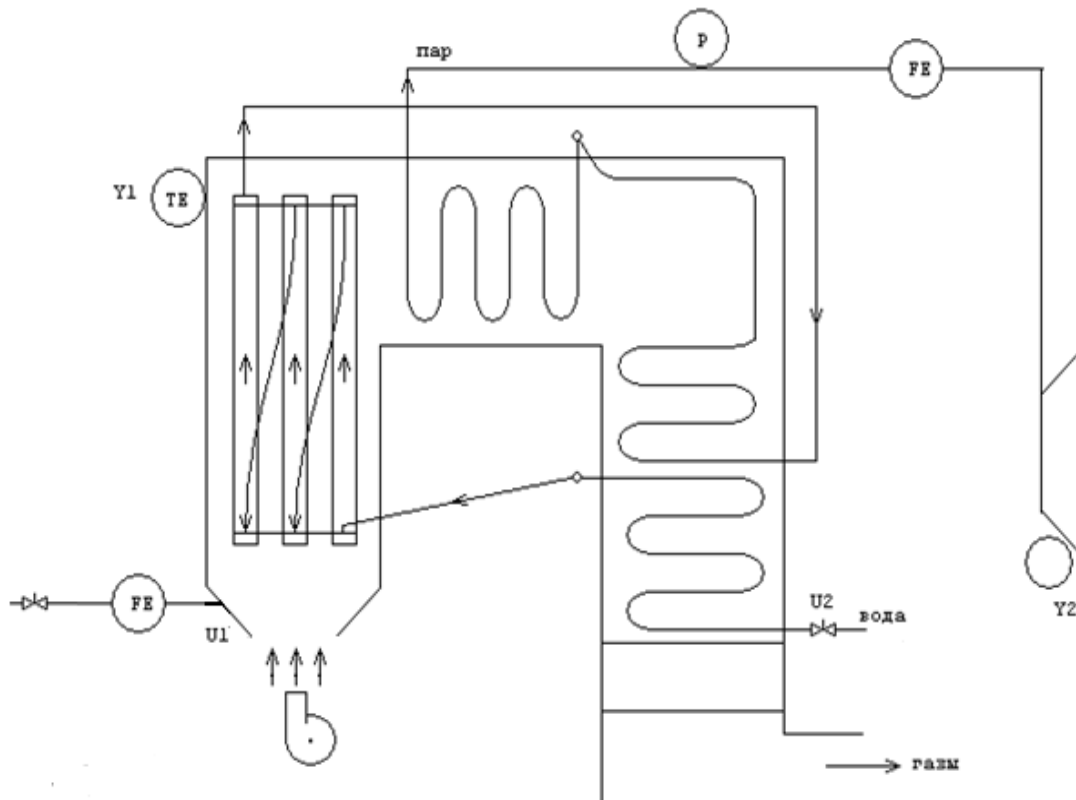


Рис. 2. Технологічна схема енергоблоку

Використовуючи в наявному доступі як самі передавальні функції збурень енергоблоку, так і маючи уявлення що являє собою даний енергоблок, можливо вже буде його перенести і в інше середовище, де можливо більш детально дослідити як сам об'єкт так і автоматичну систему яка дозволить керувати всіма необхідними процесами в самому енергоблоці. Слід зробити увагу на тому, що передавальні функції і являють собою об'єкт, але тільки в спрощеному варіанті а коротше кажучи моделями. Особливу увагу в даній моделі приділяється основним параметрам для яких автоматична система керування і застосовується. Також слід зазначити що дана модель не являється дуже точною копією об'єкта, але всі необхідні параметри були збережені так як це спрощена модель реального об'єкту.

Маючи передавальні функції даного енергоблоку, в середовищі Simulink була збудована модель цього об'єкту. Модель в середовищі представлена на Рис.3

Так як в енергоблоці застосовуються два канали регулювання, а саме канали витрати води і канали витрати палива, будуть використовуватися дві одноконтурні системи по кожному з цих каналів

регулювання. Знявши криві розгону як по каналу витрати палива, так по каналу витрати, були знайдені і параметри для ПІ-регуляторів. Результати регулювання зображені на Рис.4

На ньому чітко можна дослідити залежність потужності енергоблоку в залежності від витрати палива яка на даному рисунку позначена цифрою 1, а залежність потужності від витрати води позначена цифрою 2.

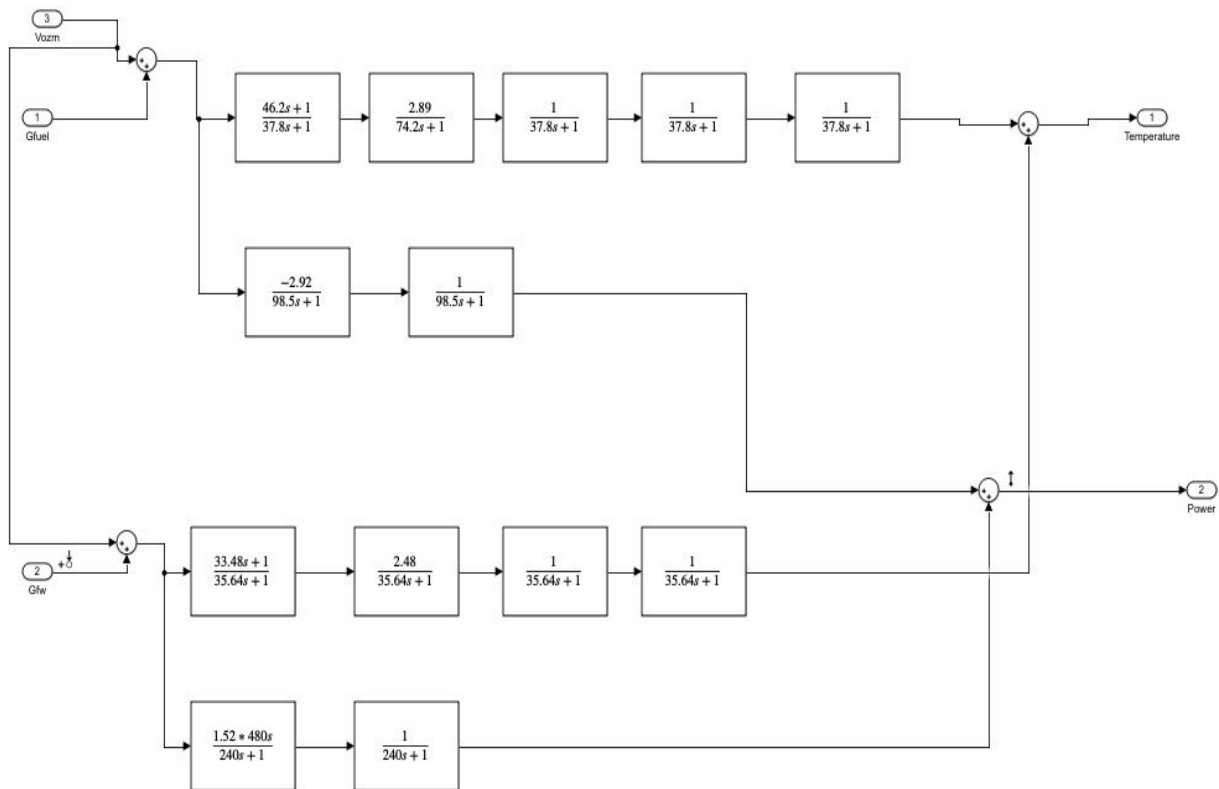


Рис. 3. Модель енергоблоку 300МВт в середовищі Simulink

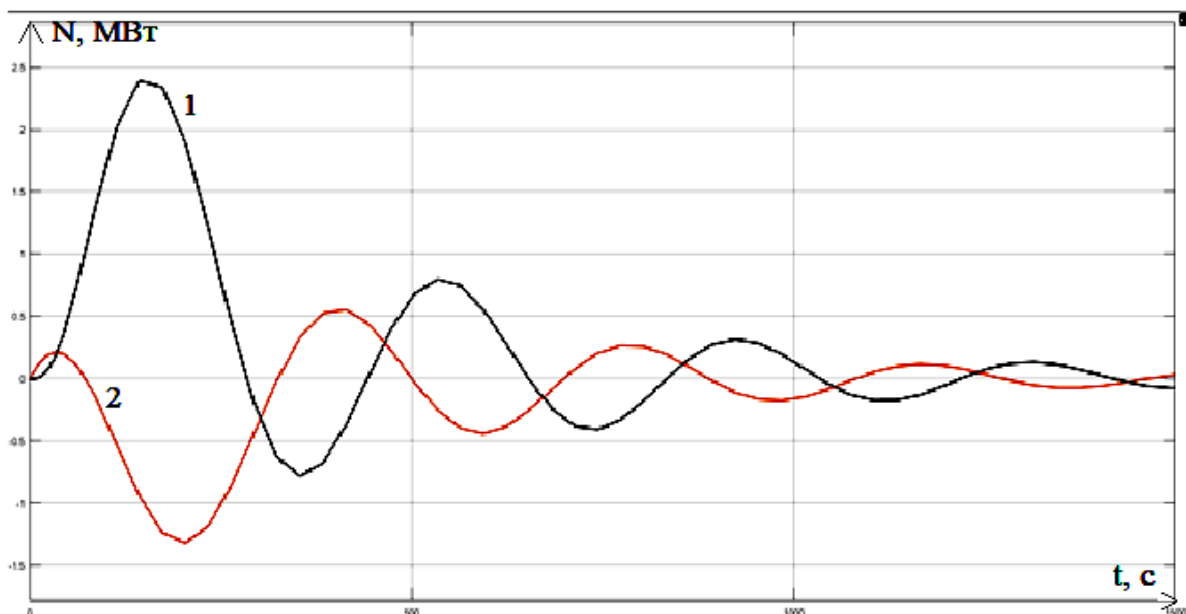


Рис. 4. Графік перехідних процесів регулювання. Залежність потужності від витрати палива і витрати води

**Висновки.** Переходячи до висновків, хочеться зазначити що дана тема на сьогоднішній час є актуальною. Адже регулювання потужності котла це річ, до якої треба відноситись більш відповідально, адже саме на таких об'єктах більш зручніше переходити з одного режиму роботи в інший. Також треба брати до уваги що джерел невелика кількість, які б висвітлювали цю тему більш глибоко і яку можливо було розглядати як для потреб навчання, так і для наукової діяльності. В цій роботі була вивчена залежність потужності від двох основних факторів на які і треба фокусувати увагу для подальшого вивчення даних об'єктів. Адже насамперед вони і становлять домінуючу роль у вивченні цього об'єкту.



---

**Література**

1. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. Москва: Энергоиздат, 1981. 368 с.
2. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля / Под ред. Ключева А.С. Москва, 1983. 376 с.
3. Кон Л.И. Методические указания и таблицы для выбора настроек ПИ и П регуляторов в одноконтурных системах регулирования тепловых объектов с запаздыванием. Одесса: ОПИ, 1972. 30 с.
4. Демченко В.А. Автоматичні системи регулювання технологічними процесами АЕС і ТЕС. Одеса: ОНПУ, 1994. 280 с.
5. Волошниченко А.В., Медведев В.В., Озерова И.П. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподачи. Томск: ТПУ, 2011. 158с.

**References**

1. Pletnev G.P. Avtomatizirovanное upravlenie ob#ektami teplovyh jelektrostantsij. Moskva: Jenergoizdat, 1981. 368 s.
2. Tehnika chtenija shem avtomaticheskogo upravlenija i tehnologicheskogo kontrolja / Pod red. Kljueva A.S. Moskva, 1983. 376 s.
3. Kon L.I. Metodicheskie ukazanja i tablicy dlja vybora nastroek PI i P reguljatorov v odnokonturnyh sistemah regulirovanija teplovyh ob#ektov s zapazdyvanіem. Odessa: OPI, 1972. 30 s.
4. Demchenko V.A. Avtomatichni sistemi reguljuvannja tehnologichnimi procesami AES i TES. Odesa: ONPU, 1994. 280 s.
5. Voloshnichenko A.V., Medvedev V.V., Ozerova I.P. Prіncipial'nye shemy parovyh kotlov i toplivopodach. Tomsk: TPU, 2011. 158s.

Рецензія/Peer review : 27.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ БЛОКУ ВВЕР-1000

Насамперед була розглянута маловивчена тема, а саме регулювання живлення не одного парогенератора блоку ВВЕР-1000 а відразу чотирьох парогенераторів блоку. Були вивчені і досліджені основні властивості регулювання живленням парогенератора, також схеми за допомогою яких можливо здійснювати регулювання живленням парогенераторів. Були зроблені висновки, які саме сигнали повинні заводитись до регулятора та чому саме вони. Дослідженні всі необхідні аспекти у здійсненні регулювання живленням парогенераторів та задіяні основні методи регулювання. Вивчені основні правила, які допоможуть в майбутньому розробити більш сучасні методи керування живленням, які зменшать як і час регулювання, так і збільшать точність регулювання. Розглянуті загальні положення, які можуть як позитивно так і негативно вплинути на якість регулювання живленням парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Розглянуто основні властивості регулювання живлення групи парогенераторів, основні небезпеки які можуть вплинути на якість регулювання та основні правила які потрібно виконувати, для максимально кращої якості регулювання. Були дані рекомендації щодо будівництва автоматизованої системи регулювання а саме: які сигнали потрібно застосовувати, для чого взагалі потрібні коефіцієнти приладів зв'язку та як вони впливають на якість регулювання живлення парогенераторів, чому застосовується саме дана система автоматичного регулювання живленням та як можна покращити якість регулювання. Детально проведено дослідження по якості регулювання живленням парогенераторів та зроблені висновки стосовно цієї якості регулювання живленням парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Були виявлені недоліки даної автоматичної системи регулювання та дані рекомендації по вирішенню даних недоліків у рамках даної теми. Проведено детальне дослідження автоматичної системи регулювання та дано пояснення, чому саме дана система застосовується в якості основної для регулювання живлення парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Були дані основні факти які допоможуть побудувати дану систему регулювання та не пропускати помилок які дійсно зможуть набагато погіршити якість регулювання.

**Ключові слова:** парогенератори, витрата води, витрата пари, рівень парогенератора, блок ВВЕР-1000, група парогенераторів.

M. YAROTSKYI

Odessa National Polytechnic University

## RESEARCH OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF POWER SUPPLY OF STEAM GENERATORS OF THE WWER-1000 BLOCK

First of all, a little-studied topic was considered, namely the regulation of power not of one steam generator of the WWER-1000 unit but of four steam generators of the unit at once. The main properties of power supply control of the steam generator were studied and investigated, as well as the schemes by means of which it is possible to control the power supply of steam generators. Conclusions were made as to which signals should be fed to the controller and why. All the necessary aspects of the power supply control of steam generators have been studied and the main control methods have been used. The basic rules that will help in the future to develop more modern methods of power management, which will reduce both the time of regulation and increase the accuracy of regulation. The general provisions which can both positively and negatively influence quality of regulation of power supply of steam generators of the WWER-1000 block are considered. A relatively simple automatic control system has been developed that uses four local regulators to control the power supply of WWER-1000 steam generators. The main properties of this control method are studied and conclusions are made about this control method, how it affects the quality of control and whether it is possible to develop a better way to control the power supply of steam generators. Other methods of regulation and their advantages and disadvantages under this topic were also considered a bit. A general analysis of the main methods of power supply of steam generators and comparison of their efficiency in theory is made. An analysis of which control schemes in the future to use the rudeness of those that exist at the moment, as microprocessor technology is developing rapidly and in many industries outdated methods are replaced by newer ones. This is due to the use of newer technologies than those currently used in nuclear energy and do not allow to fully unleash the great potential. Conclusions are made in the general tendencies of development of systems of automatic power control of steam generators of the WWER-1000 block and the basic general provisions to development of the given schemes and studying further more perspective schemes of regulation are analyzed.

**Keywords:** steam generators, water consumption, steam consumption, steam generator level, WWER-1000 unit, group of steam generators.

**Постановка проблеми.** На разі проблематика постає наступна: дане питання не є дуже добре вивчене та висвітлене в відкритих джерелах інформації. Саме тому дана тема і є більш-менш актуальною на даний момент та потребує більш детального висвітлення в рамках розгляду даної тематики а саме регулювання живленням не одного парогенератора як розглядають зазвичай а саме живленням всіх чотирьох парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Тому надалі і буде висвітлене саме питання регулювання живленням всіх парогенераторів блоку та основні правила регулювання даними об'єктами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчаючи останні публікації у відкритих джерелах інформації, були представлені різними статтями на подібну тематику. Були вивчені такі автори як Демченко в яких розкриваються властивості регулювання живленням парогенераторів а також таких авторів як Ключев, Лукас в питаннях теорії автоматичного керування, яку можливо буде застосовувати до даної тематики.

**Постановка завдання.** Дослідити автоматичну систему регулювання живленням парогенераторів блоку ВВЕР-1000.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Спочатку треба все таки згадати, що саме представляє собою такий складний об'єкт як парогенератор. Парогенератор являє собою теплообмінник трубчатого типу, призначений для переробки тепла, що виробляється реактором, для приведення в рух турбіни. Парогенератор дозволяє використовувати ядерне джерело енергії першого контуру енергоблоку, залишаючи при цьому пар другого контуру радіоактивно чистим.

Парогенератор є важливим компонентом циркуляційної петлі першого контуру реактора ВВЕР-1000. Він розташований на кожній петлі першого контуру між корпусом реактора і головних циркуляційних насосів. Парогенератори діють як сполучна ланка між першим і другим контуром енергоблоку, яке забезпечує подачу сухої насиченої пари під тиском  $64 \text{ кгс/см}^2$  при температурі  $278,5$  градусів Цельсія з вологістю меншу за  $0,2\%$ .

Теплоносій першого контуру проходить по трубах парогенератора, де тепло передається в другий контур, створюючи суху насичену пару. Так як теплоносій першого контуру протікає по трубах, він ніколи не потрапляє і не змішується з середовищем другого контуру. Це дозволяє використовувати ядерне паливо, в той же час підтримуючи радіоактивну чистоту пара.

Після короткого пояснення, що являє собою вище згаданий об'єкт який буде розглядатися в даній статті, перейдемо до основної теми. В загалом відомо, що якщо розглядати лише один парогенератор, то для нього застосовується 3-х імпульсна автоматична система регулювання. Тому що вона дозволяє задіяти всі можливі сигнали, які тільки доступні для парогенератора.

І тут вже повернемося до нашої 3-х імпульсної АСР яка зображена на Рис.1

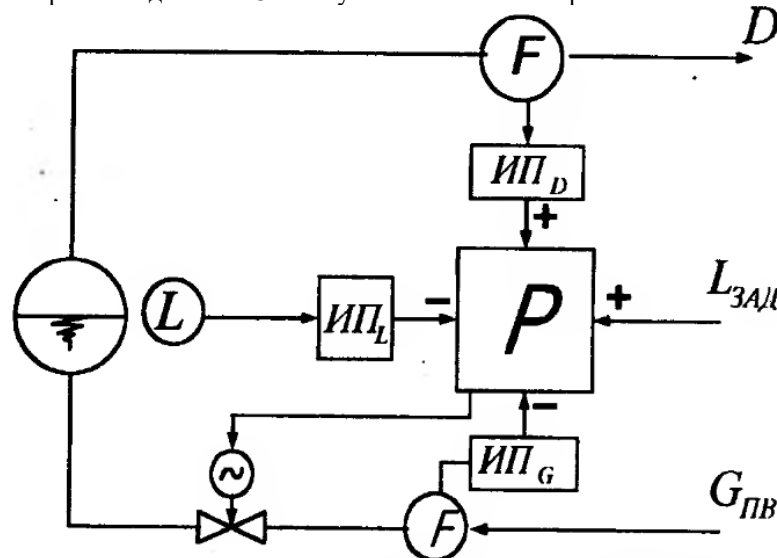


Рис. 1. Принципова схема 3-х імпульсної АСР

Принцип роботи даної АСР заключається в тому, що сигнали по витраті пари та витраті живильної води вводяться в регулятор з різними знаками. В сталому режимі ці сигнали рівні, протилежні за знаком і слідуючи з цього, компенсують один одного. А сигнал по рівню води в парогенераторі компенсується сигналом завданням по рівню води. І тому дана АСР являється більш кращою з точки зору регулювання і тому використовується вже не один рік. Але хоч і виникають проблеми з тим, що при вимірюванні витрати пари, виникає перепад тиску пари який не критичний для ТЕС, але критичний для АЕС[1]. Саме тому замість сигналу по витраті пари, використовують суму інших сигналів, за допомогою яких і замінюється сигнал по витраті пари.

Все це звучить добре, але все таки це стосується лише одного парогенератора, а як бути з групою парогенераторів а точніше з чотирма парогенераторами які і знаходяться в блоці реактора ВВЕР-1000.

А з в такій ситуації, річ вже неоднозначна, адже вже йде річ про групу парогенераторів та їх живлення. Живлення парогенератора є дуже важливою річчю, адже все живлення парогенераторів зводиться до балансу підтримки рівня води в самому парогенераторі. І в певній мірі 3-х імпульсна система регулювання вирішує дану проблему коли подається більше живильної води в парогенератор, чи виникає потреба в більшій генерації пари. Але є ще один чинник який треба враховувати, а саме потужність реактора. Тому є треба розглядати дану систему автоматичного регулювання для всіх парогенераторів і дослідити вплив зміни потужності реактора на рівень в парогенераторах.

Для детального дослідження даної теми, ми виберемо відносно нескладну схему, а саме на кожен парогенератор, буде виставлений локальний регулятор, який і буде приймати сигнали по витраті води, витрати пари та рівень води в парогенераторі. Таких регуляторів у нас буде чотири. На один парогенератор буде один локальний регулятор який і буде здійснювати регулювання живлення і забезпечення стабільного рівня води в самому парогенераторі.

Спрощена схема блоку ВВЕР-1000 в середовищі Simulink приведена на рисунку 2.

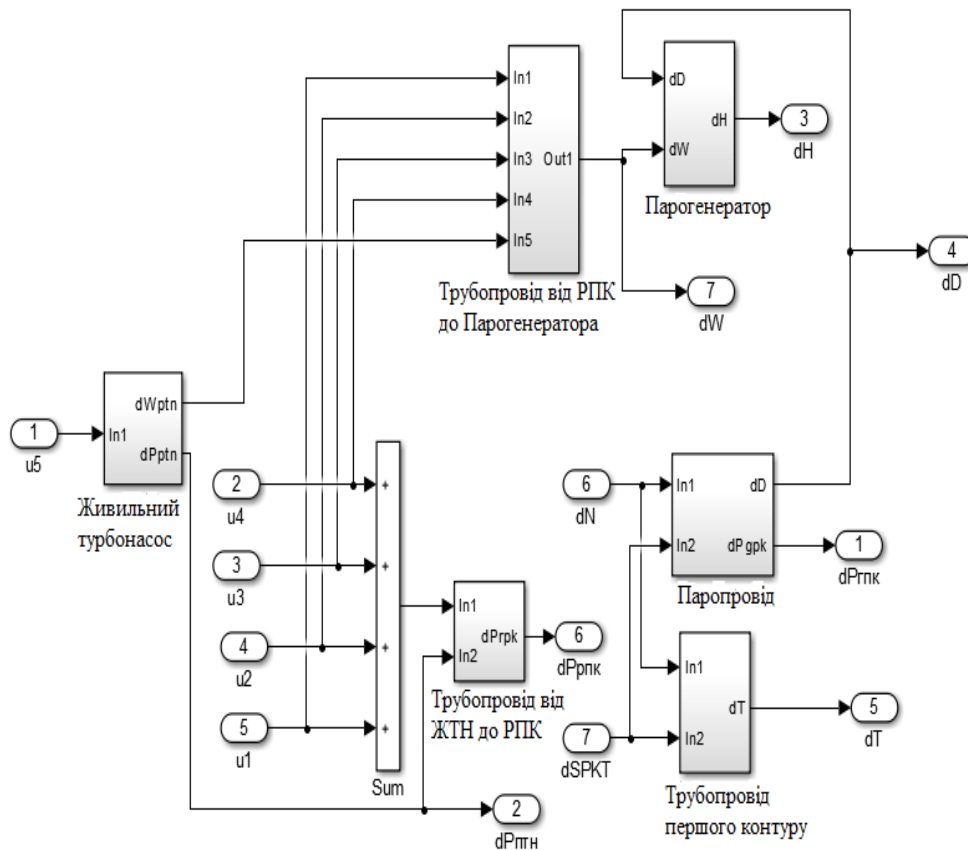


Рис. 2. Схема блоку ВВЕР-1000 з одним парогенератором в середовищі Simulink

На рисунку 2 була представлена спрощена схема в якій є тільки один парогенератор, так як якщо помістити ще 3 парогенератори, то схема стає набагато більшою. В модернізованій схемі додано ще три парогенератори, трубопровід від РПК до парогенераторів, паропроводів та трубопроводів першого контуру. Загалом трубопровід першого контуру можна зробити і загальним для всіх парогенераторів, але це не має особливого значення і не завадить дослідженню, так як в даній статі досліджується регулювання живлення групи парогенераторів і даний факт ніяк не вплине на якість проведення дослідження адже це не являється великою похибкою внаслідок якої експеримент буде недійсним.

Отже маючи вже саму схему блоку ВВЕР-1000, тепер потрібно налагодити локальні регулятори для парогенераторів. Це є невеликою проблемою так як це можливо зробити за допомогою кнопки Tune, яка розташована в налаштуваннях регулятора. Сам регулятор виглядає наступним чином на рисунку 3.

Коли вже все майже готово, залишилось лише нанести збурення по потужності реактора. Визначивши на кожен парогенератор своє завдання по рівню води, ми отримуємо наступні показники, які зображені на рисунку 4. На даному рисунку зображено регулювання рівня першого парогенератора. Варто зазначити що потрібно ще знайти коефіцієнти зв'язку для сигналу по витраті живильної води, сигналу по витраті пари та сигналу по рівню води в парогенераторі. Якщо не буде знайдено необхідних коефіцієнтів зв'язку які на рисунку 3 зображені в трикутниках, регулятор працювати не буде. А саме процес регулювання не те що буде мати похибку, а взагалі не буде виконуватись. Тому саме важливе це підібрати коефіцієнти зв'язку по кожному з сигналів які йдуть до регулятора. Це необхідна умова для того, аби регулювання взагалі відбувалось. І це варто пам'ятати, адже від цього залежить також і якість регулювання. Можна підібрати і такі коефіцієнти, за яких регулювання теж буде мати негативний вплив. Тому до цього треба віднестись зі всією відповідальністю і ретельно підібрати емпіричним методом необхідні коефіцієнти зв'язку. І вже маючи чітко побудовану автоматичну систему регулювання, де всі потрібні сигнали заводяться в регулятор, ми можемо перейти до дослідження. І в даному дослідженні ми не будемо наносити збурення по витраті живильної води чи витраті пари. В даному дослідженні буде нанесено збурення по потужності енергоблоку ВВЕР-1000. Дане збурення і дозволить нам детально дослідити вплив даного збурення на рівень води в парогенераторі і як взагалі дана автоматична система регулювання буде реагувати на дане збурення. Виставивши необхідні завдання по рівню води в парогенераторах, наносимо збурення по потужності енергоблоку. Отриманий результат можливо подивитись на рисунку 4. З даного рисунку видно, що регулювання рівня води в парогенераторі процес не миттєвий, це залежить більше від математичної моделі парогенератора. Тому були отримані результати які і зображено на рисунку 4.

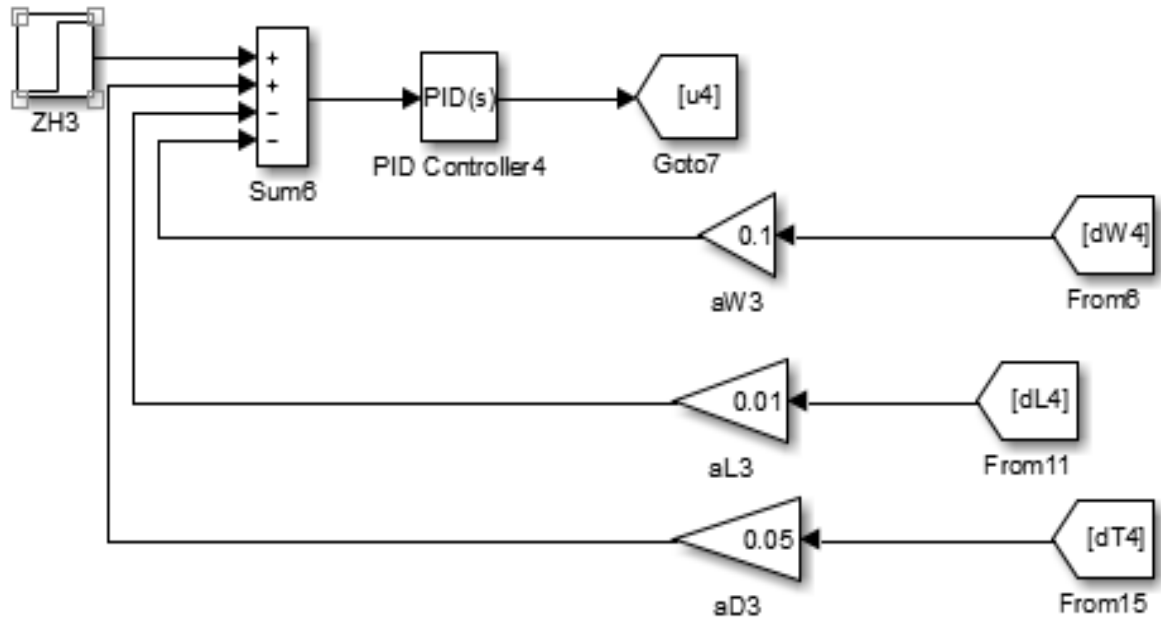


Рис. 3. Вигляд регулятора живлення парогенератора в середовищі Simulink.

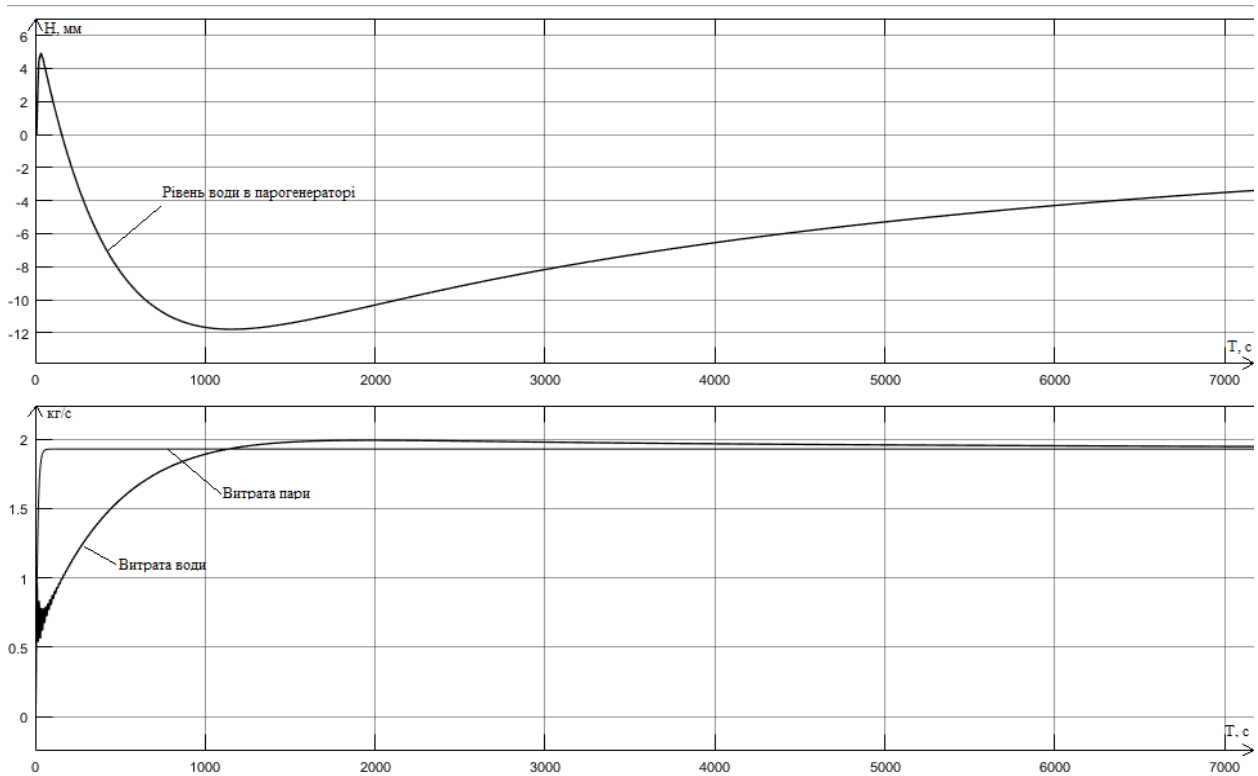


Рис. 4. Графік регулювання живлення парогенератора в середовищі Simulink

Дивлячись результати регулювання можна зробити висновок, що коли час вже становить 5000 секунд, то можемо вважати, що регулювання завершено, так як зона нечутливості у регулятора на реальній атомній електростанції приблизно 5 мм. Варто також зазначити що нині замість сигналу по витраті пари використовують суму інших сигналів а саме: сигнал по різниці температури в гарячій і холодній нитці першого контуру, і для більш швидкої реакції регулятора на зміну витрати пари був введений сигнал по швидкості зміни тиску в головному паровому колекторі. Саме тому хочеться зробити акцент на тому, що такий об'єкт як парогенератор є складним в плані вивчення і тому він потребує в розробці нових засобів керування які б ще більш краще забезпечили регулювання живлення парогенератора. Приведена вище 3-х імпульсна автоматична система регулювання є доволі непоганим вирішенням питань з регулюванням живлення парогенератора, але і вона може бути модернізована за допомогою сучасних засобів автоматизації. Використання локальних регуляторів на кожний з 4-х парогенераторів є непоганим рішенням але в майбутньому дану систему можливо було б замінити на дискретний оптимальний ПІІ-регулятор який

буде збирати дані про рівень води в парогенераторі і виходячи з завдання, наносити регулюючі впливи для підтримання рівня води в парогенераторі. Замість 4-х регуляторів можливо поставити лише один, який буде чудово виконувати роботу по регулюванню живлення. Але і даний дискретний оптимальний регулятор має свій недолік, а саме якщо один з каналів зв'язку вийде з ладу, то регулятор почне вести себе неадекватно і може статись аварія. Тому зараз локальні П-регулятори для кожного парогенератора на даний момент є більш оптимальним та безпечним способом регулювання живленням.

**Висновки та пропозиції.** Отже стабілізація живлення парогенератора при застосування локального регулятора є ефективним засобом регулювання живлення але не єдиним який можливо застосувати. Хоч і допускається похибка в регулюванні рівня парогенератора, але дана похибка не виходить за рамки дозволеної. Також треба брати до уваги, що в системі регулювання застосовується саме П-регулятор. Але так само застосовуються 3 імпульси а саме: сигнал по витраті води, сигнал по рівню води в парогенераторі та сигналом по витраті пари. За сигнал по витраті пари було вже пояснено. Можна зробити висновок, що даний спосіб регулювання живлення є ефективним хоч і потребує більше часу на стабілізацію рівня води в парогенераторі. Дане дослідження хоч і демонструє ефективність локальних регуляторів для кожного з парогенераторів, але в майбутньому навіть даний спосіб регулювання живлення може бути замінений на дискретний оптимальний ПІ-регулятор, на який вже будуть йти сигнали по рівню води зі всіх чотирьох парогенераторів і звісно даний регулятор також буде надсилати необхідні сигнали для регулювання живлення на всіх чотирьох парогенераторах. Дана автоматична система регулювання з таким регулятором знизить собівартість даної системи і також дозволить більш якісно проводити регулювання живлення парогенераторів блоку ВВЕР-1000.

Але поки що на даний момент локальні регулятори для кожного з парогенераторів є більш надійними.

### Література

1. Демченко В.А. Автоматичні системи регулювання технологічними процесами АЕС і ТЕС. Одеса: ОНПУ, 1994. 280 с.
2. Харабет О.М. Вивчення класичної теорії автоматичного управління. Одеса: Бахва, 2014. 188 с.
3. Ключев А.С. Автоматическое регулирование. Москва: Энергия, 1967. 344 с.

### References

1. Demchenko V.A. Avtomatichni sistemi reguljuvannja tehnologichnimi procesami AES i TES. Odesa: ONPU, 1994. 280 s.
2. Harabet O.M. Vivchennja klasichnoї teorii avtomatichnogo upravlinnja. Odesa: Bahva, 2014. 188 s.
3. Kljuev A.S. Avtomaticheskoe regulirovanie. Moskva: Jenergija, 1967. 344 s.

Рецензія/Peer review : 19.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

В. А. ПОПОВ, Д.В. ЯЦЕНКО, О.В. АДАНІКОВ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

В.О. ОНУФРЕЙ

Міністерство енергетики України

## АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ДЛЯ ОБґРУНТУВАННЯ УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

При вирішенні задачі керування режимами розподільних мереж побудованих за петлевою схемою, як основний захід мінімізації втрат електричної енергії розглядали визначення оптимального місця розмикання в залежності від сезону року, а саме для осінньо-зимового та весняно-літнього максимумів навантажень. Але швидке й масштабне впровадження джерел розподіленої генерації у електричні мережі 6-10 кВ призводить до частой зміни потокорозподілу в мережі та, без сумніву, викликає необхідність розробки нових принципів керування їх режимами. Успішність даного заходу напряму залежить від належного рівня автоматизації мереж, тим паче, з урахуванням того, що більша частина обладнання розподільних мереж випрацювала свій фізичний ресурс.

Концепція активних розподільних мереж передбачає повне інформаційне забезпечення, автоматизацію процесів керування режимами та розробку раціональної стратегії використання призначених для цієї мети відповідних технічних засобів. Враховуючи, що у найближчій час не існує можливості повністю оснастити розподільні мережі дистанційно керованими комутаційними апаратами, виникає питання їх оптимального розміщення й використання. Для вирішення даної проблеми, враховуючи обмежений комутаційний ресурс комутаційних апаратів, в статті пропонується адаптивна модель прогнозування електричного навантаження вузлів мережі/вихідної потужності відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Результати прогнозування будуть використовуватись, як вихідні дані для визначення техніко-економічної доцільності реалізації відповідних керуючих впливів на режими розподільної мережі.

На підставі отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що розроблений адаптивний моделі кожен з залучених методів при вирішенні задачі короткострокового прогнозування електричного навантаження/вихідної потужності сонячних панелей показує різні рівні похибки в залежності від довжини часового інтервалу. Дана тенденція зберігається як у добовому, так і у тижневому розрізі.

Ключові слова: розподільна мережа, розподілена генерація, дистанційно керовані комутаційні апарати, режими електричних мереж, адаптивна модель прогнозування.

V. A. POPOV, D.V. YATSENKO, O.V. ADANIKOV

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

V.O. ONUFREI

Ministry of Energy of Ukraine

## AN ADAPTIVE MODEL FOR PREDICTING THE PARAMETERS OF A DISTRIBUTION NETWORK WITH DISTRIBUTED GENERATION FOR JUSTIFICATION OF THE CONDITIONS OF USE REMOTELY CONTROLLED SWITCHING DEVICES

When solving the problem of controlling the modes of distribution networks built on a loop scheme, as the main measure to minimize electricity losses was considered to determine the optimal place of disconnection depending on the season, namely for autumn-winter and spring-summer maximum loads. But the rapid and large-scale introduction of distributed generation sources in 6-10 kV electrical networks leads to frequent changes in the flow distribution in the network and, no doubt, necessitates the development of new principles for controlling their modes. The success of this measure directly depends on the appropriate level of network automation, especially given that most of the equipment of distribution networks has exhausted its physical resource.

The concept of active distribution networks provides full information support, automation of control processes and the development of a rational strategy for the use of appropriate technical means for this purpose. Given that in the near future it is not possible to fully equip distribution networks with remotely controlled switching devices, there is a question of their optimal location and use. To solve this problem, given the limited switching resource of switching devices, the article proposes an adaptive model for predicting the electrical load of network nodes / output power of renewable energy sources (RES). The forecasting results will be used as initial data to determine the technical and economic feasibility of the implementation of appropriate control effects on the modes of the distribution network.

Based on the obtained research results, it can be concluded that the developed adaptive model of each of the methods involved in solving the problem of short-term prediction of electrical load / output power of solar panels shows different levels of error depending on the length of the time interval. This trend persists both daily and weekly.

Keywords: distribution network, distributed generation, remotely controlled switching devices, electric network modes, adaptive forecasting model.

### Вступ

Розподільні електричні мережі напругою 6-10 кВ є важливою ланкою в процесі передачі електричної енергії від об'єктів генерації безпосередньо до кінцевих споживачів. Сумарна протяжність розподільних повітряних (ПЛЛ) і кабельних (КЛЛ) ліній на території України становить близько 320 тис км. і простежується тенденція їх зростання [1]. У зв'язку з цим завдання забезпечення надійності та ефективності режимів таких мереж є важливим етапом забезпечення енергетичної безпеки держави [2].

Основною проблемою, яка при цьому виникає, є те, що більша частина обладнання розподільних мереж відпрацювала свій експлуатаційний ресурс і потребує заміни. Окрім того в сучасних умовах складність керування режимами розподільної мережі додатково збільшується за рахунок поширення використання джерел розподіленої генерації (ДРГ), що принциповим чином може впливати на характер строморозподілу [3]. Тому, перспективним і необхідним завданням є створення інтелектуальної розподільної мережі, що забезпечує автоматизоване ефективне керування процесами розподілу, споживання електроенергії та її генерації з боку ДРГ. У більшості випадків вихідна потужність ДРГ залежить від низки метеорологічних факторів і, як наслідок, це може призводити до різкої зміни поточкорозподілу в мережі

Основним і найбільш ефективним заходом щодо зниження технічних втрат електроенергії у розподільних мережах є робота мережі за умови підтримання оптимальної її топології. Оптимальне місце розмикання мережі знаходиться шляхом порівняння різних варіантів конфігурації мережі та визначення найкращої, з точки зору мінімізації втрат активної енергії. Згідно традиційної постановки задачі, раціональні місця розмикання електричних мереж, побудованих за петлевою схемою, встановлювали двічі на рік, відповідно, для осінньо-зимового та весняно-літнього максимумів навантажень, що вже є недостатнім в сучасних умовах, виходячи з наведених вище міркувань.

Ефективність вирішення даної задачі залежать, в першу чергу, від рівня автоматизації розподільної мережі. Так при використанні сучасних дистанційно керованих комутаційних апаратів (КА) з'являється можливість динамічного вирішення задачі, тобто майже у режимі реального часу.

Виходячи з зазначеного, метою роботи є створення алгоритму визначення раціональних місць розміщення та використання вимикачів з дистанційним керуванням на підставі розробленої адаптивної моделі прогнозування електричного навантаження та вихідної потужності ВДЕ для можливості формування ефективних режимів роботи розподільних мереж з метою мінімізації технічних втрат енергії.

#### Постановка задачі

Формування інтелектуальних розподільних мереж передбачає оснащення мережі засобами автоматизації та забезпечення можливості моніторингу процесів як передачі, розподілу так і генерації з боку ДРГ. Необхідною умовою є отримання інформації у реальному часі. Завдяки цим обставинам з'являється можливість більш ефективно вирішити більшість традиційних задач керування режимами розподільних мереж.

Зокрема, задача вибору оптимальних місць розмикання розподільних мереж, яка традиційно сприймалась як задача середньострокового планування, в зазначених умовах вже може розглядатися у якості задачі оперативного керування. Це означає, що місця нормального розмикання розподільних мереж не залишаються незмінними протягом сезону року і навіть доби, а можуть змінюватися в залежності від фактичного режиму розподільної лінії [4].

Даний захід дозволить отримувати вигоду від ефективного використання ДРГ, які орієнтовані на ВДЕ з мінливою вихідною потужністю. Скоріше за все, робота ДРГ з повною його потужністю чи його відключення буде значно впливати на формування строморозподілу в мережі, що в свою чергу вимагає відповідної реконфігурації лінії з точки зору мінімізації втрат електричної енергії (ЕЕ).

В цьому випадку, так само, як і при традиційній постановці задачі, в якості критерію оптимальності розглядається мінімум втрат ЕЕ:

$$A \rightarrow \min. \quad (1)$$

При існуючому підході до вирішення даної задачі втрати ЕЕ розраховували окремо для однієї доби виходячи з типових графіків навантаження вузлів мережі для осінньо-зимового та весняно-літнього максимумів навантажень. На основі отриманих результатів і приймали рішення, щодо тієї чи іншої конфігурації розподільної мережі. Обрана точка розмикання мережі залишалась незмінною у продовж всього сезону.

Очевидно, що зазначена умова буде виконуватися, якщо ми забезпечимо мінімум втрат потужності на окремих часових інтервалах деякого періоду часу (Т), наприклад, тієї ж доби, характерної з точки зору графіків навантаження для певного сезону року.

$$P \rightarrow \min, t = 1, \dots, T. \text{ індекс } t \quad (2)$$

Зрозуміло, що такий підхід, в загальному випадку, передбачає можливість динамічної зміни точок розмикання розподільної лінії протягом періоду часу (Т) [4].

Оскільки в розподільних мережах все ще використовуються вимикачі навантаження з ручним керуванням реалізація даного підходу неможлива. Однак часткове встановлення дистанційно керованих КА, замість традиційних, які відпрацювали свій ресурс, може спростити вирішення цієї задачі.

Разом з тим, доречно зазначити наступне. Ні Україна, ні будь-яка інша навіть економічно розвинена країна світу, швидше за все, ні сьогодні, ні навіть в найближчій перспективі не буде мати можливості повного оснащення розподільних мереж комутаційними апаратами, які працюють автоматично (наприклад, типу реклоузера) або керованими дистанційно. Більш того, з огляду на фінансові можливості вітчизняної енергетичної галузі, важко припустити, що навіть в окремих розподільних лініях буде розміщуватися декілька дистанційно керованих вимикачів. Тому тут доречно говорити відносно можливості точкового використання даної пропозиції і за умови, що в конкретних розподільних лініях буде розміщено не більше двох комутаційних апаратів подібного типу. Безумовно, що в цьому випадку основна увага повинна бути приділена лініям, де є споживачі з незбіжним за часом характером зміни електроспоживання або в якості



розосередженої генерації підключені відновлювані джерела енергії, режим генерації яких не співпадає з режимом споживання ЕЕ [4].

Відповідний алгоритм визначення місць розташування й керування роботою вимикачів з дистанційним керуванням включає в себе:

- вибір ряду контурів розподільних мереж, в яких було б доцільним встановити дистанційно керовані комутаційні апарати, враховуючи добоову неоднорідність потоків потужності на окремих ділянках;
- по окремим періодам часу, використовуючи характерні добові графіки навантажень вузлів і генерації з боку розосереджених джерел енергії, вирішується задача вибору оптимальних місць їх розміщення, виходячи з мінімізації втрат потужності;
- для контурів, у яких при різних добових режимах оптимальні місця їх розміщення не збігаються, визначаються вузли де розміщення дистанційно керованих вимикачів було б найбільш доцільним;
- розраховується раціональна частота спрацьовування дистанційно керованих комутаційних апаратів, враховуючи їх комутаційний ресурс;
- визначається тривалість часу, у разі відповідної зміни параметрів режиму на протязі якого, виникає доцільність зміни стану комутаційних апаратів, виходячи з обґрунтованої частоти їх спрацьовування;
- вирішується питання щодо зміни стану комутаційних апаратів на підставі аналізу спрогнозованих на визначений період часу параметрів режиму.

Таким чином, при розробці відповідної методики керування режимами розподільної мережі, виникає принципове завдання короткострокового прогнозування електричних навантажень та вихідної потужності ВДЕ. Його особливістю є те, що в даному випадку мова повинна йти не про прогнозування точкових значень електричного навантаження та вихідної потужності ВДЕ на деякому інтервалі упередження, а про необхідність здійснити як би «сканування» деякого інтервалу часу з тим, що б переконатися в стабільності зміни відповідних параметрів режиму. Такий підхід дозволить, враховуючи існуючий обмежений комутаційний ресурс вимикачів, виключити необґрунтовані їх спрацьовування при короткострокових змінах режиму електричної мережі [4].

#### Виклад основного матеріалу

При моделюванні режимів розподільної мережі та прогнозуванні електричних навантажень/вихідної потужності ДРГ є доцільним розглядати декілька сценаріїв згідно з характером інформаційного забезпечення, яке може бути використане для вирішення зазначених задач.

1. Сценарію 1 відповідає ідеальна ситуація з точки зору інформаційного забезпечення. У мережі встановлені сучасні вимірювальні прилади, які дозволяють з будь-яким кроком дискретності отримувати параметри режиму у реальному часі з усіх вузлів навантаження (рисунок 1), а також вихідної потужності, яка видається в мережу джерелом розподіленої генерації. Даний сценарій відображає дійсність, відповідну концепціям SMART GRID і SMART CITY, в яких основною характеристикою є спостережуваність.

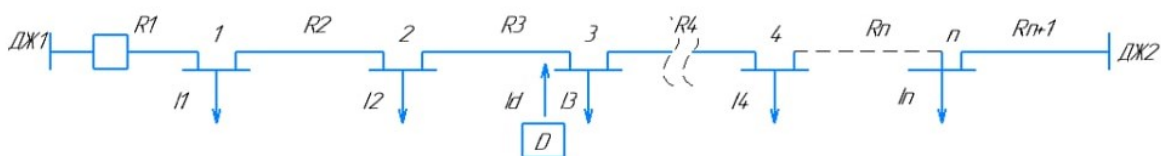


Рис. 1. Умовна схема розподільної лінії напругою 6-10 кВ з ДРГ.

Отримані дані використовуються як для розрахунку втрат активної потужності для кожного інтервалу часу  $t$ , так і подальшому їх прогнозуванні що є підставою для визначення оптимального місця розмикання лінії у реальному часі.

Але виходячи з нинішнього стану розподільних мереж, самого процесу розвитку і зростання кількості джерел розподіленої генерації, а також досвіду країн, які пройшли даний перехідний етап можна зробити висновок, що 100% вимірювальні прилади не можуть бути встановлені відразу, в усіх розподільних мережах, так як це процес поступовий і залежить від багатьох економічних і технічних факторів.

2. Другий сценарій передбачає, що сучасні пристрої вимірювань встановлені тільки на головній ділянці лінії (рисунок 1) та в місці підключення ДРГ. В цьому випадку є можливість також отримувати дані з будь-якою дискретністю. Для прийняття рішень, щодо зміни конфігурації мережі використовують прогнозні значення навантаження на головній ділянці лінії та вихідну потужність ДРГ лінії, але з тією різницею у порівнянні з попереднім сценарієм, що розподіл навантаження між окремими вузлами здійснюється у відповідності з певним алгоритмом, наприклад, на підставі [5]. Зазначений факт повинен бути врахований і при вирішенні задачі прогнозування електричних навантажень.

3. Сценарій 3 пов'язаний з ситуацією, коли наявна інформація є недостатньою для реалізації аргументованого моделювання режиму розподільної лінії і, відповідно, прогнозування електричних навантажень/вихідної потужності ДРГ на підставі традиційних методів. В цьому випадку фактор невизначеності інформації має бути певним чином врахований при вирішенні зазначених вище задач.

Для вирішення поставленої задачі в роботі пропонується використання адаптивної моделі прогнозування електричного навантаження та вихідної потужності АДЕ. Під адаптивною моделлю

прогнозування ми розуміємо декілька методів прогнозування, які працюють паралельно. Скажімо, адаптивна модель прогнозування електричного навантаження/вихідної потужності ДРГ включає  $n$  методів прогнозування  $M_1, \dots, M_n$ . В момент часу  $t$  ми починаємо прогнозувати електричне навантаження на крок вперед  $t+1$  (якщо ретроспективні дані з дискретністю 15 хвилин, то крок рівний 15 хвилин). Під час прогнозування ми використовуємо усі методи, які ми попередньо включили у модель. Після отримання фактичних показників розраховуємо похибку. Скажімо, за результатами використання усіх методів прогнозування зміни параметрів режиму електричної мережі будуть недостатні для обґрунтування доцільності виконання реконфігурації мережі. У цьому випадку в момент часу  $t+1$  ми прогнозуємо навантаження на наступний крок, тобто на  $t+2$ . Перевірка точності прогнозування повторюється. Данні кроки, продовжуються до того моменту, коли за результатами прогнозування хоча б на підставі одного з методів не буде отримано результат, який свідчить о доцільності реконфігурації розподільної лінії. Далі ми виконуємо сканування часового проміжку на який виконується реконфігурація (рисунок 2), для перевірки тривалості відповідної зміни навантаження/вихідної потужності ВДЕ.

Якщо зміна параметрів режиму відповідає зазначеним умовам триває – приймається рішення про реконфігурацію мережі, у випадку короткочасної зміни навантаження – топологія залишається незмінною. У випадку виконання сканування часового проміжку найбільшу «вагу» має той метод, який на попередніх кроках показав найменшу похибку. Даний алгоритм також може бути використаний у якості «помічника» диспетчерському персоналу, тобто надати диспетчеру інформацію про прогнозовану тривалість зміни параметрів режиму, а диспетчер буде самостійно приймати рішення, щодо доцільності зміни топології мережі. Алгоритм роботи адаптивної моделі графічно представлений на рисунку 3.

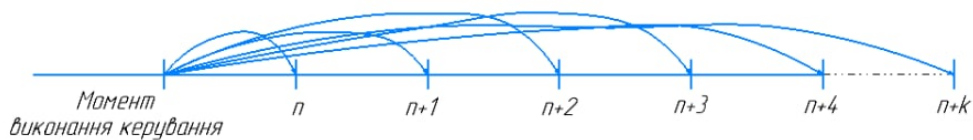


Рис. 2. Сканування часового проміжку з метою підтвердження стабільності зміни параметрів режиму.

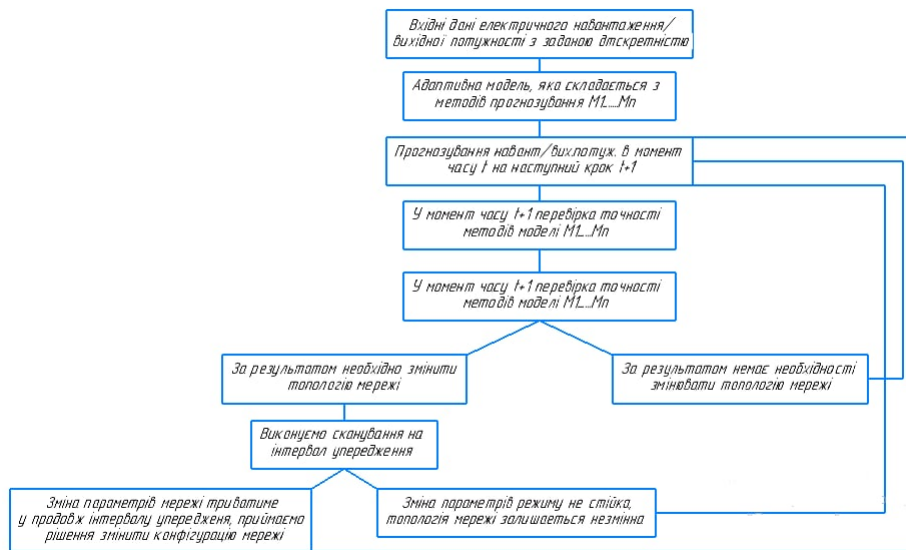


Рис. 3. Алгоритм роботи адаптивної моделі прогнозування.

У подальшому дослідженні розглянемо сценарій 2 інформаційного забезпечення, згідно якого прогнозування електричного навантаження виконується на головній ділянці мережі та у якості ДРГ розглянемо сонячні панелі, які встановлені у вузлі 3 мережі (рисунок 1).

Існуючі методи прогнозування електричного навантаження та вихідної потужності ВДЕ можна розділити на такі категорії: статистичні, машинного навчання, ансамблеві та штучного інтелекту [4, 5]. Для порівняння розглянемо по одному методу з кожної категорії, які успішно використовувались для вирішення подібних задач.

Експоненційне згладжування - один із класичних методів, що використовується для прогнозування навантаження. Загалом існують три методи експоненціальні згладжування: одинарне згладжування, подвійне експоненціальне згладжування та потрійне експоненціальне згладжування (метод Хольта-Вінтерса). Метод Хольта-Вінтерса широко використовується для вирішення подібних задач та має дві можливі варіації обчислення: адитивна та мультиплікативна. Адитивна модель використовується, якщо вихідні дані демонструють стабільні сезонні коливання. І, навпаки, мультиплікативні моделі використовуються, коли вихідні дані відображають значні сезонні коливання [6]. Досвід використання

методів експоненціального згладжування для прогнозування електричного навантаження та вихідної потужності (рівня сонячної радіації) представлено відповідно у [7-9] та [10, 11].

Метод опорних векторів (SVM) - набір алгоритмів виду «навчання з учителем», які використовуються для задач класифікації та прогнозування [12]. Алгоритм має більш високу точність прогнозування і більш просто визначається структура моделі. Для цього не потрібно володіти значним обсягом ретроспективних даних, що має значні переваги. Недоліком методу опорних векторів є нестійкість по відношенню до шуму у вихідних даних. Автори в [13] використали SVM на основі оптимізації рою частинок, в цілях короткострокового прогнозування електричного навантаження. Автор у [14] для тієї ж мети поєднав SVM з імунним алгоритмом. У статті [15] представлено використання методу опорних векторів для прогнозування вихідної потужності сонячних панелей на 24 годин вперед.

Ансамблеві методи - це парадигма машинного навчання, де кілька моделей (так звані «слабкі учні») навчаються для вирішення однієї і тієї ж проблеми і об'єднуються для отримання кращих результатів. Найбільшого поширення отримав метод екстремального градієнтного бустингу або XGBoost [16]. Це гнучкий метод, який легко справляється з пристосуванням моделі під час роботи. Одним недоліком є те, що він чутливий до викидів. У [17] використовують XGBoost та інші ансамблеві методи для прогнозування вихідної потужності сонячних панелей та вітрової установки. Прогнозування електричного навантаження з використанням методу XGBoost представлено в [18].

Мережі з довготривалою короткостроковою пам'яттю - зазвичай відомі, як «LSTM» - це особливий вид рекурентних нейронних мереж, здатний вивчати довгострокові залежності. Вони були введені Hochreiter & Schmidhuber [19]. Дана модель нейронних мереж дуже добре працює з широким колом завдань прогнозування і класифікації, що забезпечило їх широке використання. Нейронні мережі типу LSTM використовуються у дослідженні [20] для прогнозування електричного навантаження для часових горизонтів на 24 години, 48 годин, 7 днів та 30 днів. У якості факторів використовується низка показників, включаючи температуру, вологість та швидкість вітру. Автори використовують даний метод для прогнозування вихідної потужності сонячних панелей у роботі [21].

В нашому дослідженні тренування моделі здійснювалось на місячній вибірці ретроспективних даних електричного навантаження та вихідної потужності сонячних панелей, а тестова вибірка складає один тиждень. Це обумовлено тим, що при такому об'ємі даних модель може дати прогноз на визначений проміжок часу будь-якого дня наступного тижня з достатньою точністю. Адаптивна модель виконує прогнозування для кожного дня з тестової вибірки. Для того, щоб перевірити твердження про різну ефективність методів прогнозування на різних часових проміжках, добові графіки навантаження та вихідної потужності було вирішено розділити. Нижче наведені графіки всієї вибірки даних електричного навантаження та вихідної потужності, які використовувались у дослідженні (рисунок 6). Оскільки методи даних категорій, окрім моделі Хольта-Вінтерса, є багатфакторні, то в якості факторів для прогнозування електричного навантаження було використано місяць року, день тижня, година доби. Всі розрахунки здійснені використовуючи мову програмування Python 3.6 та середовище Jupyter Notebook з використанням безкоштовних бібліотек.

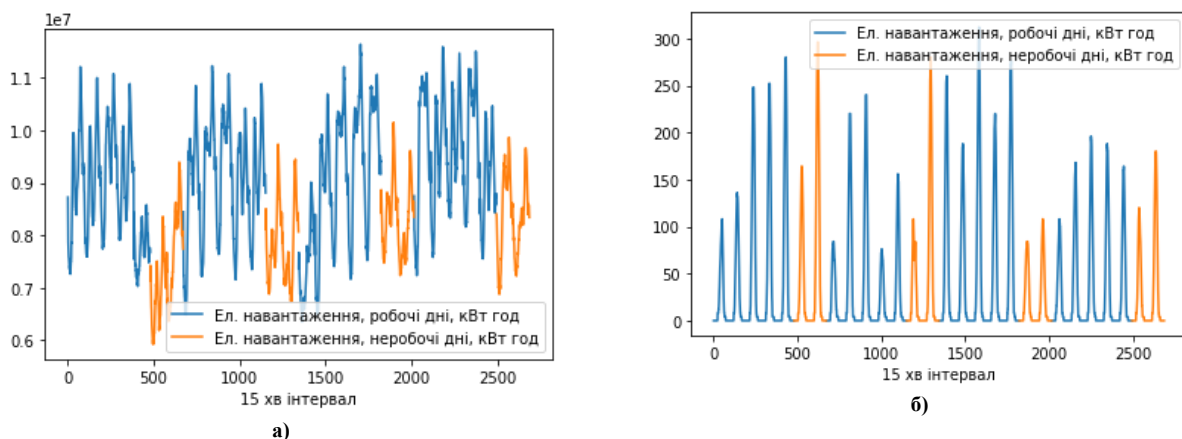


Рис. 4. Дані однієї з розподільних мереж центрального регіону України (а) - графік електричного навантаження; (б) - графік вихідної потужності сонячних панелей

### Експериментальні результати дослідження

Значення інтервалу керування режимом роботи розподільної мережі можна визначити виходячи з кількості спрацювань дистанційно-керованого комутаційного апарату. Для реклоузера комутаційний ресурс складає 30 000 комутацій при терміні служби 25 років. У середньому це 3-4 комутації на добу. З цього слідує, що інтервал керування складає 6-8 годин, разом з тим ДРГ, вихідна потужність яких залежить від погодних умов, скоріше за все, не зможуть підтримувати параметри свого режиму у продовж цього періоду, тому розглянемо період прогнозування що дорівнює 3 годинам, хоча визнаємо, що зазначене питання потребує більш детального вивчення на підставі техніко-економічних міркувань.

В якості оцінки якості прогнозування на кожному кроці використовуємо показник: MAPE - середня абсолютна похибка прогнозу у відсотках:

$$MAPE = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (3)$$

де  $y_i$  - фактичне значення електричного навантаження/вихідної потужності;

$\hat{y}_i$  - прогнозне значення електричного навантаження/ вихідної потужності;

$n$  - обсяг виборки.

Адекватність роботи адаптивної моделі можна перевірити на добовому розрізі при вирішенні задач прогнозування електричного навантаження (вузлів мережі)/вихідної потужності сонячних панелей. Нижче приведені графіки залежності похибки у відсотках на кожному кроці прогнозування для визначених часових інтервалів.



Рис. 4. Зміна похибки окремих методів адаптивної моделі прогнозування у добовому розрізі (при прогнозуванні електричного навантаження головної ділянки мережі).

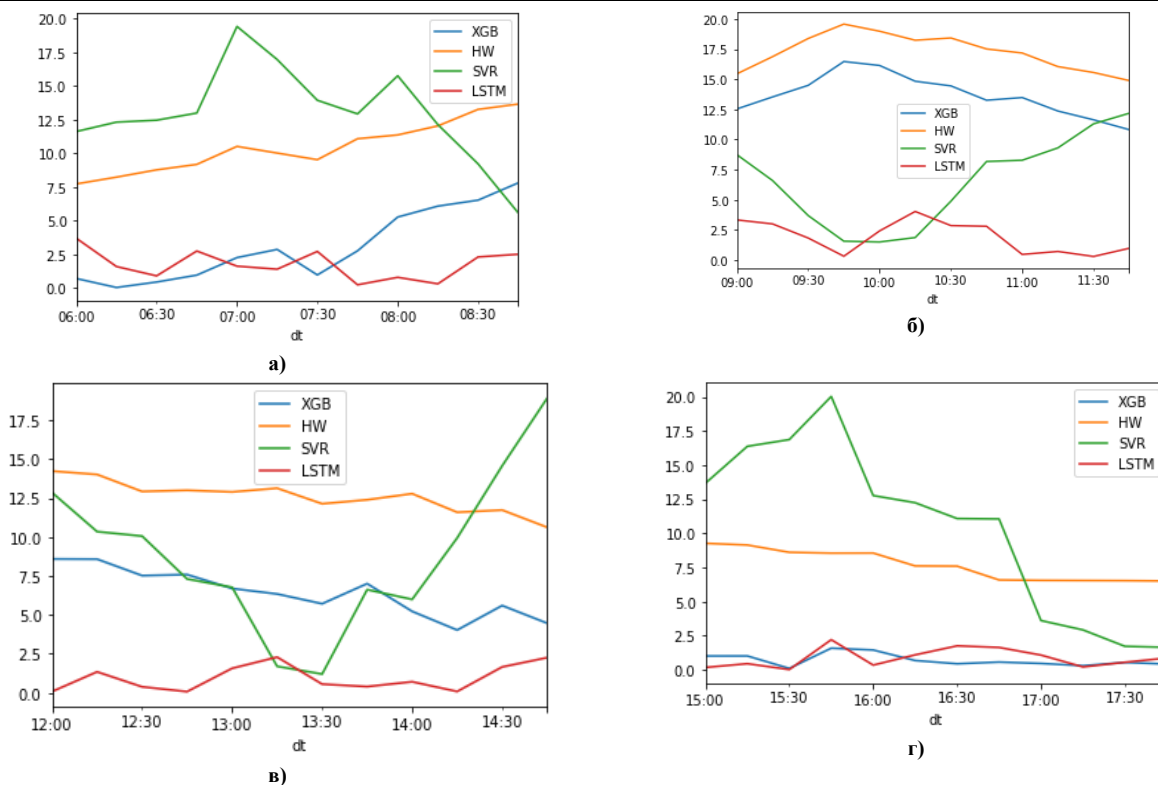


Рис. 5. Зміна похибки окремих методів адаптивної моделі прогнозування у добовому розрізі (при прогнозуванні вихідної потужності сонячних панелей, встановлених у вузлі мережі).

З наведених результатів можна побачити, що кожен з методів адаптивної моделі прогнозування може давати результати з різною точністю на різних часових проміжках. Тому варто зазначити, що адаптивний підхід цілком виправданий при вирішенні задачі керування режимами розподільних мереж у режимі реального часу. Нижче наведені графіки, які відображають середню похибку у відсотках за певний часовий проміжок у тижневому розрізі. Це дозволяє зробити висновок, що тенденція зміни точності методів на різних часових проміжках зберігається.

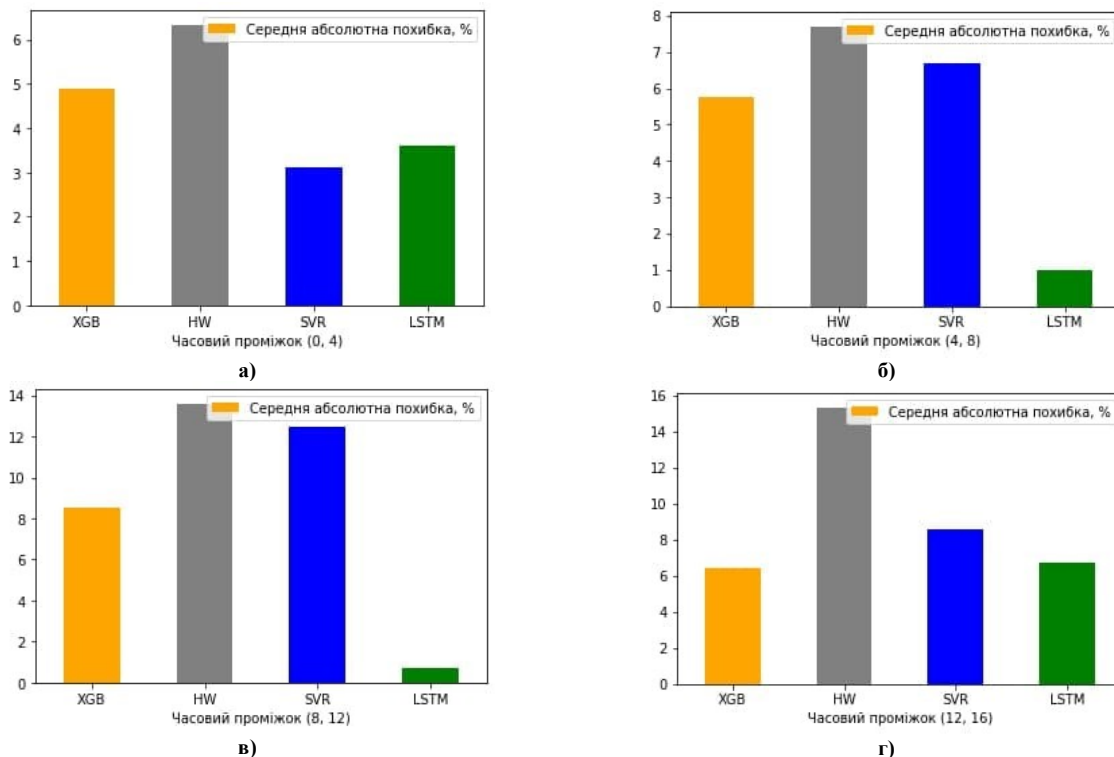


Рис. 3. Точність окремих методів адаптивної моделі, при прогнозуванні електричного навантаження, на різних часових проміжках (а) – часовий проміжок 00:00 – 04:00; (б) – часовий проміжок 04:00 – 08:00; (в) – часовий проміжок 08:00 – 12:00; (г) – часовий проміжок 12:00 – 16:00

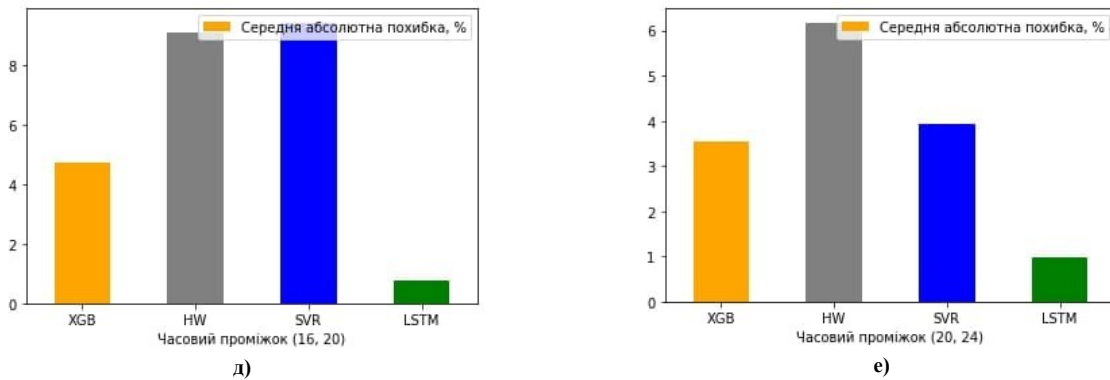


Рис. 3 (продовження). Точність окремих методів адаптивної моделі, при прогнозуванні електричного навантаження, на різних часових проміжках : (д) – часовий проміжок 16:00 – 20:00, (е) – часовий проміжок 20:00 – 24:00.

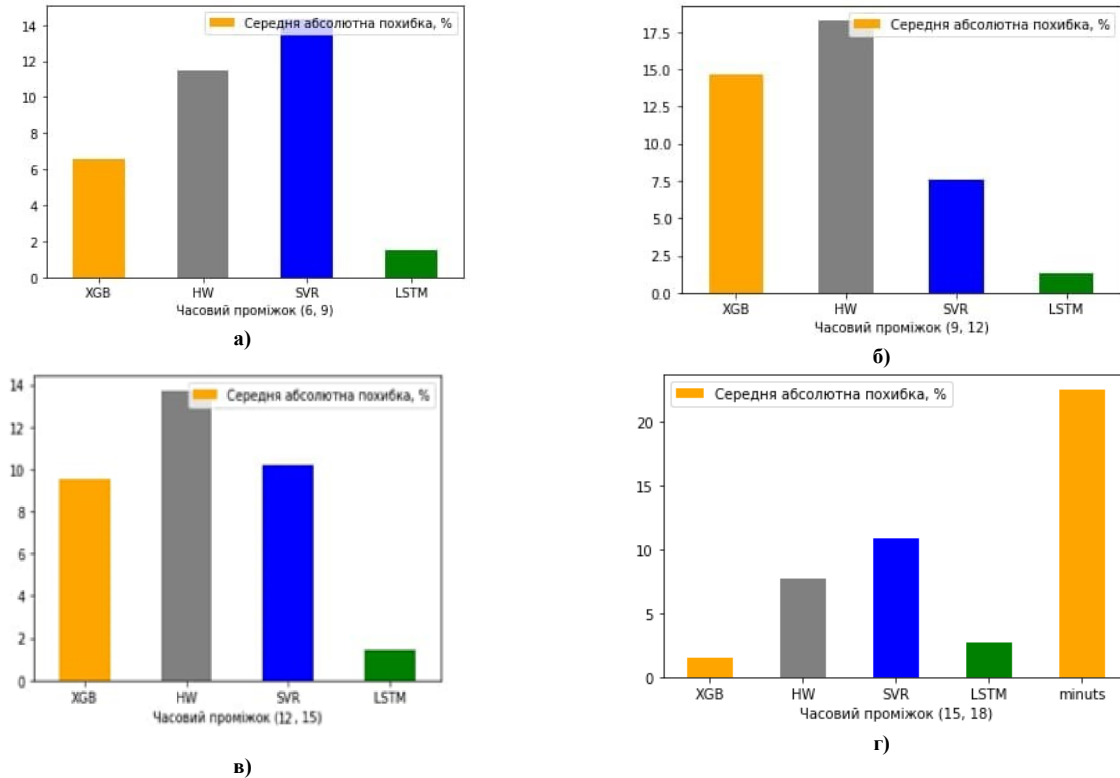


Рис. 4. Точність окремих методів адаптивної моделі, при прогнозуванні вихідної потужності сонячних панелей, на різних часових проміжках (а) – часовий проміжок 06:00 – 09:00; (б) – часовий проміжок 09:00 – 12:00; (в) – часовий проміжок 12:00 – 15:00; (г) – часовий проміжок 15:00 – 17:00.

### Висновки

З отриманих результатів можна зробити висновок, що кожен метод розробленої адаптивної моделі при вирішенні задачі короткострокового прогнозування електричного навантаження/вихідної потужності сонячних панелей показує різні результати в залежності від довжини часового інтервалу. Дана тенденція зберігається як у добовому, так і у тижневому розрізі. Методи, які використовуються у адаптивній моделі показують кращі результати при прогнозуванні електричного навантаження вузлів мережі. При прогнозуванні вихідної потужності сонячних панелей дані методи показують дещо нижчу точність прогнозування. Тому для прогнозування вихідної потужності можна розглядати включення методів з інших класів, наприклад ймовірнісні моделі.

З усіх методів, які були включені у адаптивну модель найбільш стійкий результат показують нейронні мережі типу LSTM, тому даний метод можна успішно використовувати як при прогнозуванні навантаження так і вихідної потужності.

### Література

1. Циганенко Б.В., Підвищення показників якості електропостачання в розподільних електричних мережах / Б.В. Циганенко, В.В. Кирик//Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті», 29-30 вересня 2016 р., м.Київ, НТУУ КПІ – Київ, 2016. – стр. 157-162.
2. Бондаренко Р. В. Підвищення надійності функціонування розподільних електричних мереж / Р. В. Бондаренко, О. М. Довгалюк, Г. В. Омеляненко, О. Є. Піротті, Т. В. Сиром'ятнікова // Вісник Харківського

національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 195. - С. 69-71. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdustg\\_2018\\_195\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdustg_2018_195_25)

3. Илюшин П. В. Влияние технического состояния оборудования объектов распределенной генерации на надежность функционирования распределительных сетей / Илюшин П. В. // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. - 2019. - № 9. - С. 30–38.

4. В.А. Попов. Особливості використання комутаційних апаратів з дистанційним керуванням в процесі формування активних розподільних мереж / В.А. Попов., Д. В. Яценко, О. В. Аданіков, О. В. Яценко // Энергетика: економіка, технології, екологія. – Київ. – 2020. - №1. – С. 21-28.

5. А.Ф. Жаркин. Системы электроснабжения с источниками распределенной генерации / А.Ф. Жаркин, С.П. Денисюк, В.А. Попов. – Київ. - Наукова Думка, 2016, 232 с.

6. Chusyairi, The Use of Exponential Smoothing Method to Predict Missing Service E-Report / A. Chusyairi, R. N. S. Pelsri, and Bagio // 2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Yogyakarta, 2017, pp. 39-44, doi: 10.1109/ICITISEE.2017.8285535.

7. W. R. Christiaanse, Short-Term Load Forecasting Using General Exponential Smoothing // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-90, no. 2, pp. 900-911, March 1971, doi: 10.1109/TPAS.1971.293123.

8. L. Abderrezak Very short-term electricity demand forecasting using adaptive exponential smoothing methods / L. Abderrezak, M. Mourad and D. Djalel // 2014 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, 2014, pp. 553-557, doi: 10.1109/STA.2014.7086716.

9. Al-Hafid. Short term electrical load forecasting using holt-winters method / Al-Hafid, Majed S. // . Al-Rafidain Engineering. – 2012. - Vol. 20. P. 15-22. 10.33899/rengj.2012.63377.

10. W. Kanchana. PV Power Forecasting with Holt-Winters Method / W. Kanchana , S. Sirisukprasert // 2020 8th International Electrical Engineering Congress (iEECON), Chiang Mai, Thailand, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/iEECON48109.2020.229517.

11. S. Dev. Solar Irradiance Forecasting Using Triple Exponential Smoothing / S. Dev, T. AlSkaif, M. Hossari, R. Godina, A. Louwen and W. van Sark // 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), Sevilla, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/SEST.2018.8495816.

12. Fentis. Short-term solar power forecasting using Support Vector Regression and feed-forward / A. Fentis, NN L. Bahatti, M. Mestari and B. Chouri // 2017 15th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), Strasbourg, 2017, pp. 405-408, doi: 10.1109/NEWCAS.2017.8010191.

13. W.-C. Hong. Electric load forecasting by support vector model // Applied Mathematical Modelling, vol. 33, no. 5, P. 2444-2454, 2009.

14. S. Qiang. Short-term power load forecasting based on support vector machine and particle swarm optimization / S. Qiang., Y. Pu // Journal of Algorithms & Computational Technology. – 2018. - Vol. 13. - P. 1-8,.

15. Fentis. Short-term solar power forecasting using Support Vector Regression and feed-forward NN / A. Fentis, L. Bahatti, M. Mestari and B. Chouri // 2017 15th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), Strasbourg, 2017, pp. 405-408, doi: 10.1109/NEWCAS.2017.8010191.

16. X. Liao. Research on Short-Term Load Forecasting Using XGBoost Based on Similar Days / X. Liao, N. Cao, M. Li and X. Kang // International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Changsha, 2019, p. 675-678.

17. Alberto Torres-Barrán. Regression tree ensembles for wind energy and solar radiation prediction / Alberto Torres-Barrán, Álvaro Alonso, José R. Dorronsoro // Neurocomputing. – 2019. – Vol. 326–327. – P.151-160. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.05.104>.

18. Abbasi R.A. Short Term Load Forecasting Using XGBoost / Abbasi R.A., Javaid N., Ghuman M.N.J., Khan Z.A., Ur Rehman S., Amanullah // Web, Artificial Intelligence and Network Applications. WAINA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Cham. – 2019. - Vol 927. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15035-8\\_108](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15035-8_108).

19. Hochreiter. Long Short-term Memory / Hochreiter, Sepp & Schmidhuber // Neural computation. - Jürgen. - 1997. - P. 1735-80. 10.1162/neco.1997.9.8.1735.

20. Shahzad Muzaffar. Short-Term Load Forecasts Using LSTM Networks / Shahzad Muzaffar, Afshin Afshari // Energy Procedia. – 2019. – Vol. 158, P. 2922-2927. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.952>.

21. Abdel-Nasser Mohamed. Accurate photovoltaic power forecasting models using deep LSTM-RNN / Abdel-Nasser Mohamed ,Mahmoud Karar // Neural Computing and Applications. – 2019. – Vol. 31. – P. 2727-2740. 10.1007/s00521-017-3225-z.

#### References

1. Tsyhanenko B.V., Pidvyshchennia pokaznykiv yakosti elektropostachannia v rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh / B.V. Tsyhanenko, V.V. Kyryk//Materialy XVII mizhnarodnoinaykovo-praktychnoi konferentsii «Vidnovliuvania enerhetyka ta enerhoefektyvnist u KhKhI stolitti», 29-30 veresnia 2016 r., m.Kyiv, NTUU KPI – Kyiv, 2016. – str. 157-162.

2. Bondarenko R. V. Pidvyshchennia nadiinosti funktsionuvannia rozpodilnykh elektrychnykh merezh / R. V. Bondarenko, O. M. Dovhaliuk, H. V. Omelianenko, O. Ye. Pirotti, T. V. Syromiatnikova // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. - 2018. - Vyp. 195. - S. 69-71. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdustg\\_2018\\_195\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdustg_2018_195_25)

3. Ilyushin P. V. Vliyanie tehničeskogo sostoyaniya oborudovaniya obektov raspredelennoj generacii na nadezhnost funkcionirovaniya raspredelitelnyh setej / Ilyushin P. V. // Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont. - 2019. - № 9. - S. 30–38.
4. V.A. Popov. Osoblyvosti vykorystannia komutatsiinykh aparativ z dystantsiynym keruvanniam v protsesi formuvannia aktyvnykh rozpodilnykh merezh / V.A. Popov., D. V. Yatsenko, O. V. Adanikov, O. V. Yatsenko // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – Kyiv. – 2020. - №1. – S. 21-28
5. A.F. Zharkin. Sistemy elektrosnabzheniya s istochnikami raspredelennoj generacii / A.F. Zharkin, S.P. Denisyuk, V.A. Popov. – Kiyiv. - Naukova Dumka, 2016, 232 s.
6. Chusyairi, The Use of Exponential Smoothing Method to Predict Missing Service E-Report / A. Chusyairi, R. N. S. Pelsri, and Bagio // 2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Yogyakarta, 2017, pp. 39-44, doi: 10.1109/ICITISEE.2017.8285535.
7. W. R. Christiaanse, Short-Term Load Forecasting Using General Exponential Smoothing // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-90, no. 2, pp. 900-911, March 1971, doi: 10.1109/TPAS.1971.293123.
8. L. Abderrezak Very short-term electricity demand forecasting using adaptive exponential smoothing methods / L. Abderrezak, M. Mourad and D. Djalel // 2014 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, 2014, pp. 553-557, doi: 10.1109/STA.2014.7086716.
9. Al-Hafid. Short term electrical load forecasting using holt-winters method / Al-Hafid, Majed S. // . Al-Rafidain Engineering. – 2012. - Vol. 20. P. 15-22. 10.33899/rengj.2012.63377.
10. W. Kanchana. PV Power Forecasting with Holt-Winters Method / W. Kanchana , S. Sirisukprasert // 2020 8th International Electrical Engineering Congress (iEECON), Chiang Mai, Thailand, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/iEECON48109.2020.229517.
11. S. Dev. Solar Irradiance Forecasting Using Triple Exponential Smoothing / S. Dev, T. AlSkaif, M. Hossari, R. Godina, A. Louwen and W. van Sark // 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), Sevilla, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/SEST.2018.8495816.
12. Fentis. Short-term solar power forecasting using Support Vector Regression and feed-forward / A. Fentis, NN L. Bahatti, M. Mestari and B. Chouri // 2017 15th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), Strasbourg, 2017, pp. 405-408, doi: 10.1109/NEWCAS.2017.8010191.
13. W.-C. Hong. Electric load forecasting by support vector model // Applied Mathematical Modelling, vol. 33, no. 5, P. 2444-2454, 2009.
14. S. Qiang. Short-term power load forecasting based on support vector machine and particle swarm optimization / S. Qiang., Y. Pu // Journal of Algorithms & Computational Technology. – 2018. - Vol. 13. - P. 1-8,.
15. Fentis. Short-term solar power forecasting using Support Vector Regression and feed-forward NN / A. Fentis, L. Bahatti, M. Mestari and B. Chouri // 2017 15th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), Strasbourg, 2017, pp. 405-408, doi: 10.1109/NEWCAS.2017.8010191.
16. X. Liao. Research on Short-Term Load Forecasting Using XGBoost Based on Similar Days / X. Liao, N. Cao, M. Li and X. Kang // International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Changsha, 2019, p. 675-678.
17. Alberto Torres-Barrán. Regression tree ensembles for wind energy and solar radiation prediction / Alberto Torres-Barrán, Álvaro Alonso, José R. Dorronsoro // Neurocomputing. – 2019. – Vol. 326–327. – P.151-160. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.05.104>.
18. Abbasi R.A. Short Term Load Forecasting Using XGBoost / Abbasi R.A., Javaid N., Ghuman M.N.J., Khan Z.A., Ur Rehman S., Amanullah // Web, Artificial Intelligence and Network Applications. WAINA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Cham. – 2019. - Vol 927. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15035-8\\_108](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15035-8_108).
19. Hochreiter. Long Short-term Memory / Hochreiter, Sepp & Schmidhuber // Neural computation. - Jürgen. - 1997. - P. 1735-80. 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
20. Shahzad Muzaffar. Short-Term Load Forecasts Using LSTM Networks / Shahzad Muzaffar, Afshin Afshari // Energy Procedia. – 2019. – Vol. 158, P. 2922-2927. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.952>.
21. Abdel-Nasser Mohamed. Accurate photovoltaic power forecasting models using deep LSTM-RNN / Abdel-Nasser Mohamed ,Mahmoud Karar // Neural Computing and Applications. – 2019. – Vol. 31. – P. 2727-2740. 10.1007/s00521-017-3225-z.

Рецензія/Peer review : 12.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.



**АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-293-1-145-150

УДК 629.396

Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, С.О. КИРИЛЮК

Вінницький національний технічний університет

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ  
ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ**

*У роботі представлено високопродуктивний метод спектрального оцінювання випадкових сигналів, який базується на процедурі комбінованого оброблення неперекривних підпоследовностей виборок сигналу у часовій і частотній області.*

*Аналіз ефективності запропонованого методу підтвердив, що завдяки розробленій процедурі цифрового оброблення сигналів вдається підвищити продуктивність спектрального оцінювання сигналів у 2,0÷9,0 разів залежно від об'єму аналізованої вибірки сигналу та числа оброблюваних підпоследовностей. Максимальний виграш у продуктивності досягається за умови, коли початковий масив даних розбивається на 64 підпоследовності.*

*Ключові слова: спектральна густина потужності, швидке перетворення Фур'є, випадкові сигнали, продуктивність.*

G.G. BORTNYK, M.V. VASYLKIVSKYI, S.O. KYRYLYUK

Vinnitsia National Technical University

**METHOD OF INCREASING THE PRODUCTIVITY OF SPECTRAL EVALUATION OF RANDOM SIGNALS**

*The paper presents a high-performance method of spectral estimation of random signals, which is based on the procedure of combined processing of non-overlapping subsequences of signal samples in the time and frequency domain.*

*It is shown that the traditional method of spectral estimation of signals requires powerful computing tools that are able to perform fast Fourier transform (FFT) according to the classical algorithm with high speed. But the implementation of this approach limits the frequency range of the analyzed signals. The high demands placed primarily on the performance of the means of spectral evaluation of random signals, encourage developers to reconsider traditional methods of using FFT. Despite the results obtained in these methods, the issue of improving the performance of digital spectral evaluation of random signals in real time remains relevant.*

*The aim of the work is to increase the productivity of spectral evaluation of random signals by reducing the number of operations in the implementation of all stages of digital signal processing.*

*The paper proposes an approach that combines the features of periodogram and correlogram estimation methods. The array of input data is divided into non-overlapping subsequences of samples in each. To determine the sample power spectrum, the FFT algorithm in a given frequency band is used. The proposed method is based on the use of a rectangular weight window. To reduce the variance of the estimate, it is necessary to carry out further processing using a correlation window. As a result, we obtain a weighted correlation estimate. At the last stage, the FFT of the correlation function is performed, which makes it possible to obtain the final expression for estimating the signal power spectrum.*

*The analysis of the efficiency of the proposed method confirmed that thanks to the developed method it is possible to increase the productivity of digital spectral evaluation of signals by 2.0 ÷ 9.0 times depending on the volume of the analyzed signal sample and the number of processed subsequences. The maximum performance gain is achieved when the initial data set is divided into 64 subsequences.*

*The proposed method can be used in radio and telecommunication systems for spectral evaluation of random signals in real time.*

*Keywords: power spectral density, fast Fourier transform, random signals, productivity.*

**Вступ**

Оцінювання спектральної густини потужності (СГП) випадкових сигналів знаходить широке використання в галузі радіотехніки та зв'язку і це відображено у відповідних публікаціях [1-3]. Цифрові методи оцінювання СГП дискретизованих сигналів базуються на використанні алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [4, 5]. Класичний підхід до цифрового спектрального оцінювання сигналів створює умови для отримання достовірних оцінок стосовно широкого класу аналізованих сигналів, що задовольняють умови стаціонарності та ергодичності при наявності досліджуваного масиву виборок великого обсягу. Водночас, методологічний підхід, що базується виключно на виконанні ШПФ характеризується рядом принципових обмежень, а саме: низьким частотним розрізненням та недостовірністю спектральних оцінок для кінцевих обсягів вибірок. Такі обмеження класичних спектральних методів є типовими для більшості задач спектрального оцінювання, оскільки досліджувані процеси в телекомунікаціях та радіолокації характеризуються малою тривалістю. Останнім часом запропоновано низку цифрових методів спектрального оцінювання, які послаблюють обмеження, що властиві спектральному оцінюванню на базі процедур ШПФ.

На практиці, у більшості випадків виникає необхідність використання спектрального оцінювання СГП сигналів у реальному масштабі часу [6, 7]. Проблематика ШПФ у реальному часі зумовлена обмеженою швидкістю програмно-апаратних засобів цифрового спектрального аналізу. Традиційний метод вирішення такої проблеми вимагає наявності потужних обчислювальних засобів, які здатні виконувати ШПФ за класичним алгоритмом з високою швидкістю. Але реалізація такого підходу обмежує частотний діапазон аналізованих сигналів до значень 0,1 – 1,0 МГц [8]. Високі вимоги, що висуваються насамперед до продуктивності засобів спектрального оцінювання випадкових сигналів, спонукають розробників

переглянути традиційні методи застосування ШПФ. Незважаючи на отримані певні результати, досягнуті в цих методах, питання підвищення продуктивності цифрового спектрального оцінювання СГП випадкових сигналів у реальному масштабі часу як і раніше залишається актуальним.

**Метою роботи** є підвищення продуктивності спектрального оцінювання випадкових сигналів за рахунок зменшення числа операцій при реалізації усіх етапів цифрового оброблення сигналів.

**Основна частина**

Найбільш поширеним методом оцінювання є періодограмний метод, згідно якого СГП для вхідних відліків  $x(n)$  та обсягу реалізації  $N$ , можна визначити так [5]:

$$S(k) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \right|^2 = |X(k)|^2. \tag{1}$$

Періодограма є асимптотично незміщеною оцінкою СГП. Для великих масивів даних  $N$  її дисперсія наближається до квадрату істинної СГП [2]. Вибірковий спектр сигналу, обчислений за допомогою (1), буде давати статистично нестійкі оцінки СГП, оскільки у виразі відсутня операція математичного сподівання. Тому для підвищення статистичної стійкості оцінки СГП використовують метод модифікованих періодограм, згідно якого вхідна послідовність даних розбивається на підпослідовності. При цьому отримані підпослідовності перекриваються у часі і перед обчисленням періодограм кожна з підпослідовностей обробляється за допомогою віконної функції. Такі процедури зменшують дисперсію оцінки СГП. Але незважаючи на використання ШПФ при реалізації методу модифікованих періодограм, продуктивність даного методу є низькою і не дозволяє забезпечити режим оброблення випадкових сигналів у реальному масштабі часу.

У роботі пропонується підхід, що об'єднує особливості періодограмного і корелограмного методів оцінювання СГП. При цьому масив вхідних даних  $N$  ділиться на  $P$  неперекривні підпослідовності по  $B$  відліків у кожній (рис. 1).

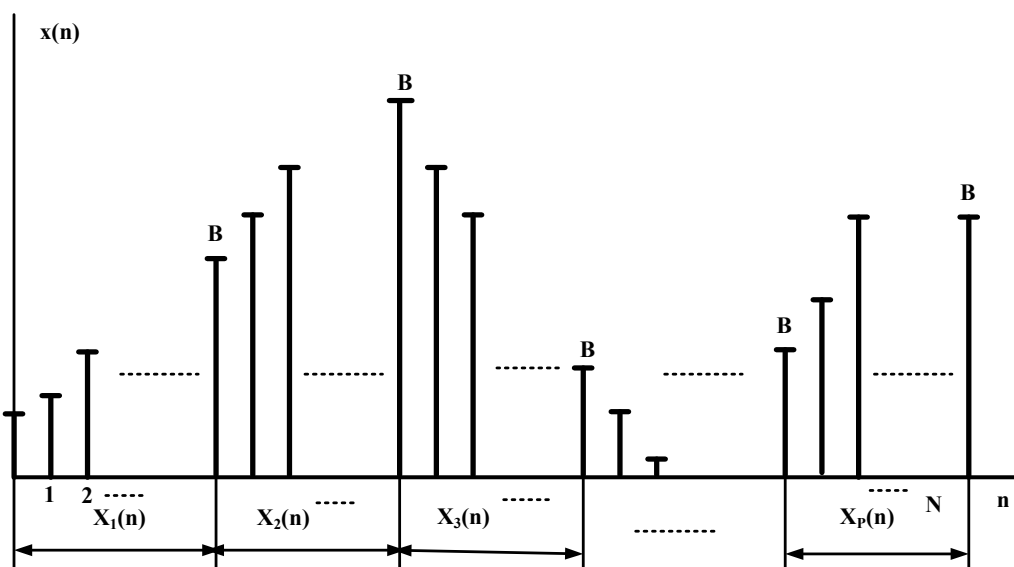


Рис.1. Розбиття масиву вхідних даних на підпослідовності

Відліки  $p$ -ї підпослідовності пов'язані зі вхідним масивом  $x(n)$  таким співвідношенням:

$$x_p(n) = x[n + B \cdot p], \tag{2}$$

де  $p = 1, 2, \dots, P$ .

Для кожної з підпослідовностей  $0 \leq p \leq P - 1$  обчислюється спектр потужності за формулою:

$$S_p(k) = \frac{1}{B} \left| \sum_{n=0}^{B-1} x_p[n] \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{B}} \right|^2. \tag{3}$$

Для визначення вибіркового спектра потужності згідно (3) використовується алгоритм ШПФ у заданій смузі частот. Аналіз СГП сигналу на певній частоті виконується шляхом усереднення виразу (3):

$$\hat{S}(k) = \frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} S_p(k). \quad (4)$$

Періодограми підпоследовностей можна вважати статистично незалежними, тому  $\hat{S}(k)$  можна розглядати як вибіркове середнє значення деякої сукупності з  $P$  незалежних спостережень вибіркового спектра  $S_p(k)$ . Статистична стійкість спектрального оцінювання згідно (2) – (4) буде покращуватись зі збільшенням числа підпоследовностей  $P$ . Водночас частотна роздільна здатність в результаті розбиття вхідного масиву на підпоследовності по  $B$  відліків у кожній, де  $B < N$ , звичайно буде погіршуватись. При фіксованому значенні  $N = P \cdot B$  забезпечується необхідне співвідношення між мінімальною дисперсією оцінки СПП сигналу (при максимально можливому значенні числа підпоследовностей) та високою спектральною роздільною здатністю (при обробленні великого масиву даних у підпоследовностях).

Наступним етапом оброблення сигналу є виконання зворотного ДПФ для  $S(k)$  з метою отримання симетричної оцінки кореляції

$$R(n) = \frac{1}{B} \sum_{k=0}^{B-1} S(k) \cdot e^{j \frac{2\pi kn}{B}}. \quad (5)$$

Слід зазначити, що запропонований метод базується на використанні прямокутного вагового вікна, тобто  $\omega_d(n) = 1$ . Для зменшення дисперсії оцінки СПП необхідно здійснити подальше оброблення за допомогою кореляційного вікна. Тобто, оцінка  $R(n)$  обробляється за допомогою симетричної кореляційної віконної функції  $\omega_c(n)$ . У результаті отримуємо зважену кореляційну оцінку

$$R_\omega(n) = R(n) \cdot \omega_c(n). \quad (6)$$

Кореляційне вікно  $\omega_c(n)$  є симетричною функцією у часі. Віконні функції  $\omega_d(n)$  і  $\omega_c(n)$  мають різні початкові точки відліку. Для вікна даних  $\omega_d(n)$  точкою відліку є значення  $n = 0$ . На відміну від функції  $\omega_d(n)$  для кореляційного вікна  $\omega_c(n)$  такою точкою є значення  $n = -B$ . Процедура синтезу ефективної віконної функції полягає у розв'язанні задачі пошуку обмеженої у часі функції, дискретне перетворення Фур'є якої найкраще апроксимує обмежену за частотою СПП сигналу. В теорії спектрального оцінювання широкого поширення набуло сімейство косинусних функцій зважування, які формуються на базі кінцевого тригонометричного ряду та представляються у такому вигляді [9]:

$$\omega(t) = \sum_{r=0}^R a_r \cdot \cos\left(\frac{2\pi r t}{T}\right), \quad (7)$$

де  $r$  – номер коефіцієнта ряду;  $T$  – часовий інтервал зважування оброблюваного сигналу.

Задача синтезу кореляційного вікна полягає в знаходженні коефіцієнтів, які забезпечують максимальну асимптотичну швидкість спадання бічних пелюсток СПП сигналу. Для знаходження коефіцієнтів вагової функції залежно від порядку вікна  $R$  необхідно розв'язати таку систему з  $R+1$  рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{r=0}^R a_r = 1 \\ \sum_{r=0}^R (-1)^r \cdot a_r = 0 \\ \vdots \\ \sum_{r=0}^R (-1)^r \cdot r^{2R-2} \cdot a_r = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Відомо, що швидкість спадання бічних пелюсток спектра пропорційна кількості косинусних членів у ваговій функції [10]:

$$V_S = V_R(2l - 1), \tag{9}$$

де  $V_R = -6 \frac{\partial B}{\text{окт}}$  – асимптотична швидкість спадання для прямокутної вагової функції.

Для ефективного корелограмного оброблення випадкового сигналу значення  $V_S \geq 40 \frac{\partial B}{\text{окт}}$ , тому порядок вікна  $R = 3$ . У результаті розв’язання системи (8) отримано коефіцієнти для кореляційної вагової функції

$$\omega_c(n) = 0,3125 - 0,46875 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0,1875 \cdot \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) - 0,03125 \cdot \cos\left(\frac{6\pi n}{N}\right). \tag{10}$$

На останньому етапі виконується ДПФ для  $R_\omega(n)$ , що дає можливість отримати кінцевий вираз для оцінки СГП сигналу:

$$S_c(k) = \frac{1}{U_c} \sum_{n=0}^{B-1} R(n) \cdot \omega_c(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{B}}, \tag{11}$$

де  $U_c = \frac{1}{B} \left| \sum_{n=0}^{B-1} \omega_c(n) \right|^2$  – енергія вагової функції.

Статистична стійкість оцінки  $S_c(k)$  забезпечується усередненням по підпоследовностям та частотним згладжуванням. Кореляційне зважування дозволяє керувати рівнем бічних паразитних пелюсток спектра потужності досліджуваного сигналу.

#### Аналіз ефективності запропонованого методу

Критерієм ефективності запропонованого методу є продуктивність, яку зручно оцінювати за числом операцій множення. Узагальненням цього критерію є коефіцієнт продуктивності, який демонструє вираш у кількості необхідних „довгих” операцій множення при застосуванні запропонованого методу спектрального оцінювання порівняно з методом періодограмно-корелограмного оцінювання сигналів [7]:

$$G_S = \frac{C_{PCE}}{C_{DSE}}, \tag{12}$$

де  $C_{PCE}$  – кількість „довгих” операцій множення при періодограмно-корелограмному оцінюванні сигналів;  $C_{DSE}$  – кількість операцій множення при застосуванні запропонованого методу.

Спектральний аналіз випадкових сигналів на базі періодограмно-корелограмного оцінювання вимагає  $4P \cdot B \cdot \log_2 B$  операцій множення для реалізації алгоритмів стрибкоподібного ШПФ та зворотного ДПФ [3]. Окрім того, виконуються операції віконного зважування даних та оброблення масиву за допомогою кореляційної віконної функції, які реалізуються з використанням  $4P \cdot B$  мнужень [8].

Для реалізації запропонованого методу спектрального оцінювання сигналів використовується прямокутне вікно даних, при якому операції множення не виконуються. Алгоритм ШПФ та зворотного ДПФ реалізується без перекриття підпоследовностей, тому необхідне число операцій множення дорівнює  $2N \cdot \log_2 N$ . Оброблення масиву за допомогою кореляційної віконної функції реалізується з використанням  $N$  операцій множення. Тоді коефіцієнт продуктивності запропонованого методу дорівнює

$$G = \frac{4P \cdot B \cdot [\log_2 B + 1]}{N \cdot [2 \log_2 N + 1]}. \tag{13}$$

Графік залежності коефіцієнта продуктивності від об’єму аналізованої вибірки сигналу для різного числа оброблювальних підпоследовностей представлено на рис.2.

Верхня крива побудована для значення  $P = 64$ , а криві, що розташовані нижче, відповідають кількості підпоследовностей 32 та 16. Як видно з графіків, продуктивність запропонованого методу підвищується зі збільшенням обсягу вибірки і дорівнює  $2 \div 4$  для мінімальної кількості підпоследовностей, тобто  $P = 16$ . При збільшенні числа оброблюваних підпоследовностей до 64, коефіцієнт продуктивності підвищується і знаходиться у межах  $4,5 \div 9,0$  залежно від об’єму аналізованої вибірки сигналу.

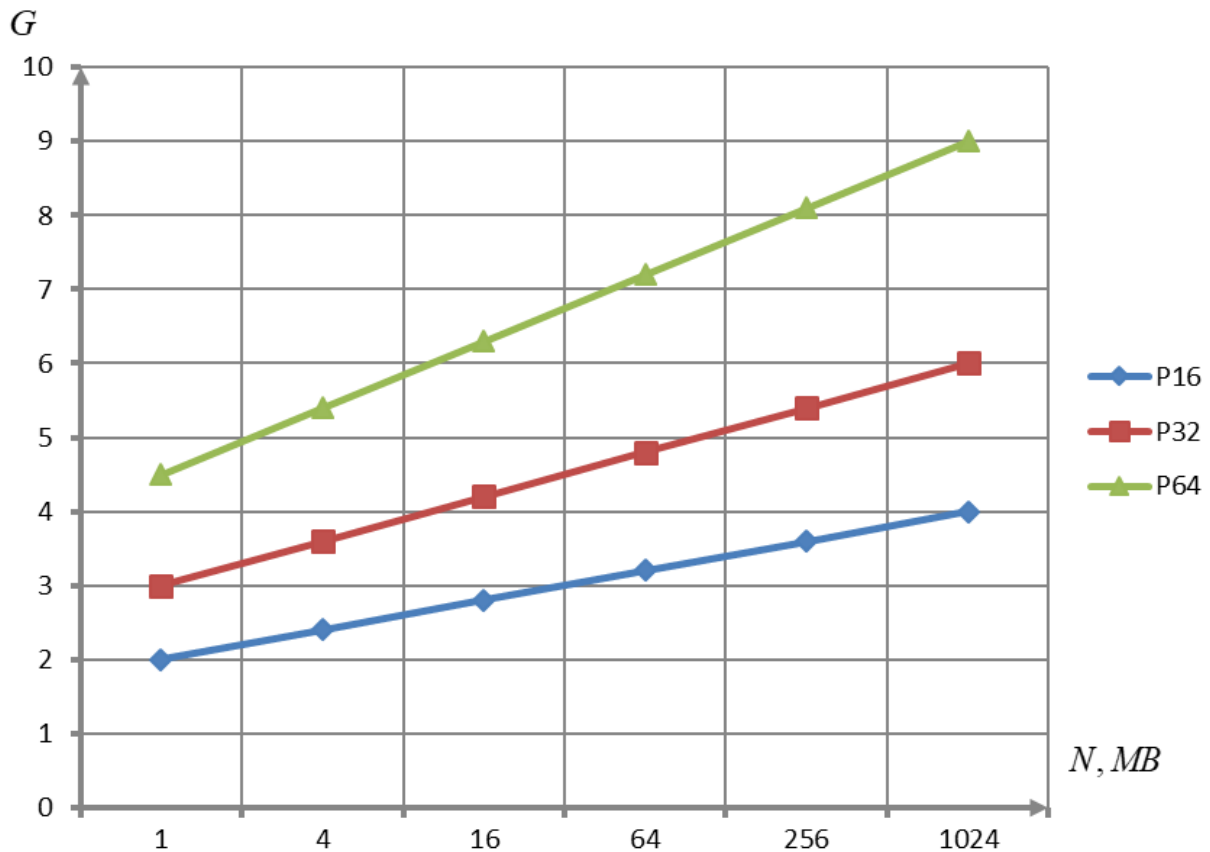


Рис.2. Залежність коефіцієнта продуктивності від об'єму аналізованої вибірки сигналу  $N$  для різного числа оброблюваних підпоследовностей

Таким чином, використання у запропонованому методі комбінованого оброблення неперекривних підпоследовностей у часовій і частотній області призводить до зменшення числа необхідних арифметичних операцій і як наслідок – до підвищення продуктивності спектрального оцінювання випадкових сигналів.

#### Висновки

У роботі представлено високопродуктивний метод спектрального оцінювання випадкових сигналів, який базується на процедурі комбінованого оброблення неперекривних підпоследовностей виборок сигналу у часовій і частотній області.

Аналіз ефективності запропонованого методу підтвердив, що завдяки розробленому методу вдається підвищити продуктивність цифрового спектрального оцінювання сигналів у  $2,0 \div 9,0$  разів залежно від об'єму аналізованої вибірки сигналу та числа оброблених підпоследовностей. Максимальний вииграш у продуктивності досягається за умови, коли початковий масив даних розбивається на 64 підпоследовності.

Запропонований метод можна використовувати у радіотехнічних і телекомунікаційних системах для спектрального оцінювання випадкових сигналів у режимі реального масштабу часу.

#### Література

1. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с. – ISBN 5-03-001071-8.
2. Бортник Г.Г. Мережі абонентського доступу: Навчальний посібник / Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, О.В. Стальченко, Яблонський В.Ф. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 201 с.
3. Бортник Г.Г. Системи передавання в електрозв'язку: Навчальний посібник / Г.Г. Бортник, О.А. Семенюк, О.В. Стальченко. – Вінниця: ВНТУ, 2006.- 138 с.
4. Бортник Г.Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 168 с.
5. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. / С.Л. Марпл-мл. – М.: Мир, 1990. – 584 с. – ISBN 5-03-001191-9.
6. Бортник Г.Г. Метод оцінювання детермінованих складових фазового дрижання у цифрових системах передавання / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.Г. Бортник. – Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012, № 3. – С.45-48.
7. Бортник Г.Г. Методи та засоби підвищення ефективності оцінювання фазового дрижання сигналів у телекомунікаційних системах: Монографія / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак. –

Вінниця: ВНТУ, 2015. - 140 с.

8. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов : пер. с англ. / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с.

9. Бортник Г.Г. Методи та пристрої оцінювання характеристик імпульсно-кодових модуляторів широкосмужових сигналів : Монографія / Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, Н.О. Пунченко. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 147 с.

10.10. Бортник Г.Г. Метод цифрового спектрального аналізу вузькосмужових сигналів / Г.Г. Бортник, О.Г. Бортник, О.В. Стальченко. – Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 4. – С.97-101.

#### References

1. 1. Bendat Dzh. Prykladnoi analiz sluchainykh dannykh: per. s anhl. / Dzh. Bendat, A. Pysol. – М.: Myr, 1989. – 540 s. – ISBN 5-03-001071-8.

2. Bortnyk G.G. Merezhi abonentskoho dostupu: Navchalnyi posibnyk / G.G. Bortnyk, V.M. Kychak, O.V. Stalchenko, Yablonskyi V.F. – Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2009. – 201 s.

3. Bortnyk G.G. Systemy peredavannia v elektrozviazku : Navchalnyi posibnyk / G.G. Bortnyk, O.A. Semeniuk, O.V. Stalchenko. – Vinnytsia : VNTU, 2006. – 138 s.

4. 4. Bortnyk G.G. Metody ta zasoby pervynnoho tsyfrovoho obroblennia radiosyhnaliv / G.G. Bortnyk, M.V. Vasylykivskyi, V.M. Kychak. – Vinnytsia: VNTU, 2016. – 168 s.

5. Marpl-ml. S.L. Tsyfrovoi spektralnyi analiz y eho prylozhenia: per. s anhl. / S.L. Marpl-ml. – М.: Myr, 1990. – 584 s. – ISBN 5-03-001191-9.

6. Bortnyk G.G. Metod otsiniuvannia determinovanykh skladovykh fazovoho dryzhannia u tsyfrovyykh systemakh peredavannia / G.G. Bortnyk, M.V. Vasylykivskyi, O. G. Bortnyk. – Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2012, № 3. – S.45-48.

7. Bortnyk G.G. Metody ta zasoby pidvyshchennia efektyvnosti otsiniuvannia fazovoho dryzhannia syhnaliv u telekomunikatsiinykh systemakh: Monohrafiia / G.G. Bortnyk, M.V. Vasylykivskyi, V.M. Kychak. – Vinnytsia: VNTU, 2015. – 140 s.

8. Ayficher E.S. Tsifrovay obrabotka signalov / E.S. Ayficher, B.W. Jervis. – М.: Williams, 2008. – 992 s.

9. Bortnyk G.G. Metody ta prystroi otsiniuvannia kharakterystyk impulsno-kodovykh modulatoriv shyrokosmuhovykh syhnaliv : Monohrafiia / G.G. Bortnyk, V.M. Kychak, N.O. Puchenko. – Vinnytsia: VNTU, 2014. – 147 s.

10. 10. Bortnyk G.G. Metod tsyfrovoho spektralnoho analizu vuzkosmuhovykh syhnaliv / G.G. Bortnyk, O.G. Bortnyk, O.V. Stalchenko. – Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2016. – № 4. – S.97-101.

Рецензія/Peer review : 19.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

В.П. МІСЯЦЬ, М.М. РУБАНКА, С.А. ДЕМІШОНКОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

О.С. ПОЛІЩУК

Хмельницький національний університет

## СИСТЕМА АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ АВТОМАТИЧНИХ КАВОВИХ МАШИН

Проведено аналіз приводів сучасних автоматичних кавових машин та відомих технічних рішень щодо їх автоматизації. Визначено шляхи удосконалення приводів автоматичних кавових машин. Встановлено залежність моменту опору на валу електродвигуна приводу автоматичної кавової машини від зусилля, що діє на поршень її пресового механізму. Методологічною і теоретичною основою дослідження слугують основні положення теоретичної механіки, теорія електроприводу, теорія переробки сипких середовищ, методологія експериментальних досліджень. Проведено експериментальні дослідження роботи приводу автоматичної кавової машини. Визначено основні параметри технологічного процесу пресування кави. Результати досліджень можуть бути використані для удосконалення конструкції побутових автоматичних кавових машин.

Ключові слова: кавова машина, привод, процес пресування кави, система адаптивного керування, електродвигун.

V.P. MISIATS, M.M. RUBANKA, S.A. DEMISHONKOVA

Kyiv National University of Technologies and Design

O.S. POLISHCHUK

Khmelnitsky National University

## ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR AUTOMATIC COFFEE MACHINES

Today, the market offers a huge selection of different machines for making coffee and coffee drinks, ranging from inexpensive carob coffee machines to elite automatic coffee machines made of precious wood or inlaid with precious stones. The most common equipment for making coffee include: carob coffee machines, chalda (portion) coffee machines, capsule coffee machines, Espresso-combines and household automatic coffee machines. Each of the types of the above equipment has both advantages and disadvantages.

The analysis of drives of modern automatic coffee machines and known technical solutions for their automation is carried out. Ways to improve the drives of automatic coffee machines are identified. The dependence of the moment of resistance on the motor shaft of the automatic coffee machine drive on the force acting on the piston of its press mechanism is established. The methodological and theoretical basis of the study are the basic provisions of theoretical mechanics, the theory of electric drive, the theory of processing of bulk media, the methodology of experimental research. The possibility of effective use of the adaptive control system of the drive of automatic coffee machines is theoretically substantiated, in the presence of the transfer function of feedback on the electric motor current and mathematical dependences that adequately describe the process of coffee pressing. Experimental researches of work of the drive of the automatic coffee machine are carried out. The main parameters of the technological process of coffee pressing are determined. The sensitivity function of the pressing system to the deviation of the loading mass from the set value is obtained. It is established that the sensitivity increases sharply exponentially with increasing mass of coffee loading into the pressing device. The research results can be used to improve the design of household automatic coffee machines. The results of the research allow to obtain the transfer functions of the coffee load weight control system according to the motor current.

Key words: coffee machine, drive, coffee pressing process, adaptive control system, electric motor.

### Вступ

На сьогоднішній день на ринку товарів представлений величезний вибір різноманітних апаратів для приготування кави і кавових напоїв, починаючи з недорогих ріжкових кавоварок і закінчуючи елітними автоматичними кавовими машинами, виконаними з цінних порід дерева або інкрустованими коштовними каменями. До найбільш поширеного обладнання для приготування кави можна віднести: ріжкові кавові машини, чалдові (порційні) кавові машини, капсульні кавові машини, Espresso-комбайни та побутові автоматичні кавові машини [1-7]. Кожен із типів вищезазначеного обладнання має як свої переваги так і недоліки.

Аналітичний огляд та аналіз існуючих конструкцій апаратів та машин для приготування кави, показав, що у світі є тенденція розвитку саме автоматичних машин для приготування кави, які працюють за принципом – завантажив зерна кави, натиснув кнопку і кава періодично готується поки бункер не спорожніє.

В автоматичних кавових машинах одним із найскладніших механізмів є механізм дозування і пресування кавового порошку перед заварюванням.

Існуючі механізми пресування поршневого типу мають складну конструкцію і ряд недоліків, одним із яких це неточність дозування меленої кави за рахунок контролю часу або кількості обертів жорен кавомолки. Тому проблема підвищення ефективності роботи автоматичних кавових машин шляхом удосконалення їх приводу є актуальною та своєчасною. Оснащення приводу кавової машини системою адаптивного керування дозволить зменшити витрати електроенергії, собівартість обладнання, підвищити надійність і довговічність його роботи.

### Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень є процеси адаптивного дозування і пресування порошку кави в автоматичних кавових машинах. При вирішенні поставлених задач були використані основні положення теоретичної

механіки, теорія електроприводу, теорія переробки сипких середовищ, методологія експериментальних досліджень.

### Постановка завдання

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи автоматичних кавових машин, завданням досліджень є розробка системи адаптивного керування приводом з використанням математичної моделі процесу пресування порошку кави, що дозволить зменшити витрати електроенергії, собівартість, підвищити надійність і довговічність його роботи.

### Результати та їх обговорення

В автоматичних кавових машинах, наприклад, для побутового або професійного застосування, а також в області торгових автоматів необхідно точно дозувати кількість кавового порошку, що видається в камеру для настоювання машини під час кожного робочого циклу. У найбільш сучасних машинах кава завантажується у вигляді зерен, і вузол помелу, що міститься в машині, розмелює задану кількість зерен для отримання порції порошкоподібної кави, потрібної для приготування чашки кави. Деякі машини також дозволяють користувачеві в певних межах змінювати кількість кави для отримання міцнішого або слабкішого напою [8-11].

Суть роботи полягає в розробці способу управління кількістю кавового порошку, що дозується в циклі настоювання, тобто автоматичного регулювання кількості кави, що дозволяє коректувати будь-які погрішності за допомогою підтримки по суті постійного протягом часу дозування кави, тобто кількості кави по масі, також можливо надаючи користувачеві можливість регулювання цієї дози у деяких межах.

Система адаптивного керування приводом автоматичної кавової машини, має забезпечувати точне і постійне дозування протягом всього часу, тобто забезпечувати автоматичне регулювання порції або кількості кавового порошку в камері настоювання. Так, для приготування Espresso, автоматичний спосіб регулювання об'єму порції передбачає наступні етапи:

- видача заданої кількості кавового порошку в камеру настоювання;
- замикання за допомогою електричного приводу камери настоювання, після пресування порошку кави;
- реєстрація, щонайменше, одного робочого параметра електричного приводу під час, щонайменше, частини етапу замикання камери настоювання і пресування кавового порошку з тим, щоб встановити порцію кавового порошку, що видається в подальшому циклі видачі залежно від контрольованого робочого параметра.

На кожному циклі видачі певної кількості кавового порошку має здійснюватись чітке управління приводом автоматичної кавової машини, що ефективно дозується за допомогою електричного параметра двигуна, який замикає камеру настоювання. При цьому вказаний параметр є функцією кількості спресованого кавового порошку. Це дозволяє виявляти надмірну або недостатню кількість кавового порошку в порівнянні із заданою величиною. До вузла видачі застосовують дії по модифікації кількості кави, що видається під час подальшого циклу настоювання, і досягають по суті автоматичного регулювання дози, тобто кількості кави по масі.

В більшості автоматичних кавових машин видача порцій виконується за допомогою вузла помелу. Цей вузол розмелює таку кількість кавових зерен, яка потрібна під час кожного циклу. Потім кава прямо або опосередковано видається з вузла помелу в камеру настоювання. Управління електричним параметром приводу замикання камери настоювання дозволить регулювати число обертів жорен вузла помелу в подальшому циклі настоювання.

Для технічної реалізації запропонованої авторами статті системи адаптивного керування приводом автоматичної кавової машини потрібно вирішити наступні задачі:

- аналітично отримати математичну функціональну залежність моменту опору на валу електродвигуна від зусилля, що діє на поршень пресового механізму кавової машини;
- експериментально встановити залежність зусилля, що діє на поршень пресового механізму кавової машини від маси завантаженої в нього кави;
- визначити чутливість системи контролю маси кави в заварному пристрої за струмом електродвигуна, що має забезпечити необхідну точність дозування.

Аналіз конструкцій автоматичних кавоварок показав, що більшість механізмів приводу поршня заварних пристроїв є аксіальними, кривошипно-шатунними (рис. 1).

Для встановлення функціональної залежності між переміщенням повзуна (поршня) і кутом повороту валу електродвигуна (кривошипа) виконаємо їх кінематичний і силовий аналіз [12-15]. Для спрощення задачі приймемо наступні припущення:

- кутова швидкість валу електродвигуна постійна;
- зазори між ланками механізму нескінченно малі;
- ланки механізму не деформуються;
- силами інерції ланок механізму нехтуємо, через малі кутові швидкості.

Переміщення поршня в загальному вигляді можна визначити за наступним виразом:

$$S_{\varphi} = R + L - \left( R \cdot \cos\varphi + L \cdot \cos\beta \right) = R \left[ 1 + \frac{1}{\lambda} - \left( \cos\varphi + \frac{1}{\lambda} \cdot \cos\beta \right) \right], \quad (1)$$



де  $R$  – радіус кривошипа;  $L$  – довжина шатуна;  $\lambda = \frac{R}{L}$  – параметр геометричної та кінематичної подібності;  $\varphi$  – кут повороту кривошипа;  $\beta$  – кут відхилення шатуна.

На практиці аналітична формула кінематики аксіального кривошипно-шатунного механізму (1) незручна через залежність від двох величин  $\varphi$  та  $\beta$ . Використовуючи ряд тригонометричних перетворень та враховуючи, що зазвичай  $\lambda \leq \frac{1}{3,5}$  вираз (1) можна записати в наступному вигляді:

$$S_\varphi \approx R \left[ 1 + \frac{1}{\lambda} - \cos\varphi - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda^2}{\lambda \cdot 4} - \frac{\lambda^2}{\lambda \cdot 4} \cos 2\varphi \right] = R \left[ 1 + \frac{\lambda}{4} - \left( \cos\varphi + \frac{\lambda}{4} \cos 2\varphi \right) \right]. \quad (2)$$

Розглянемо сили, що діють на ланки кривошипно-шатунного механізму під час пресування чергової порції кавового порошку (рис. 2).

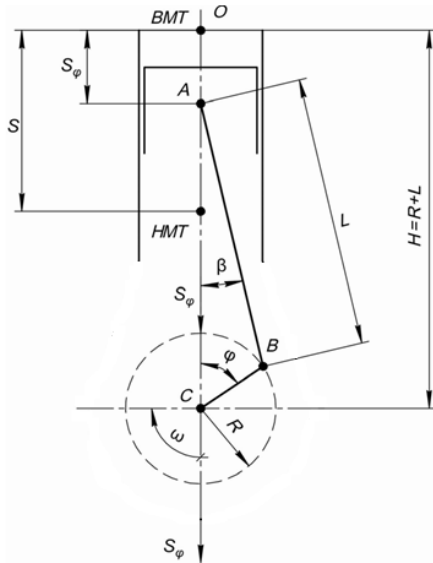


Рис. 1. Схема аксіального кривошипно-шатунного механізму

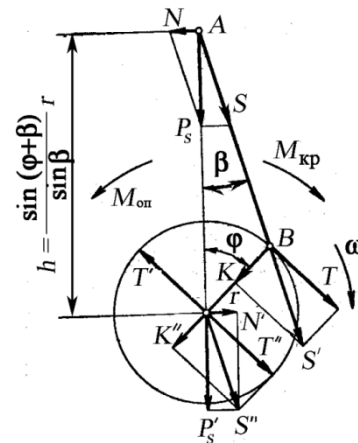


Рис. 2. Сумарні сили і моменти, що діють в кривошипно-шатунному механізмі

Сила  $P_s$ , що діє вздовж осі поршня може бути розкладена на дві складові:  $N = P_s \cdot \operatorname{tg} \beta$  – сила притиску поршня до стінок циліндра;  $S = \frac{P_s}{\cos \beta}$  – сила вздовж вісі шатуна.

Силу  $S$ , перенесену уздовж подовжньої осі шатуна в центр шатунної шийки кривошипа, позначимо через  $S'$  і розкладемо її на дві складові:  $K = S' \cos(\alpha + \beta) = P_s \cdot \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$  – нормальна складова сили, що напрямлена вздовж кривошипа;  $T = S' \sin(\alpha + \beta) = P_s \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$  – тангенціальна складова сили, що напрямлена перпендикулярно кривошипу. Сила  $T$ , це єдиний силовий фактор, що визначає крутний момент  $M_{кр}$  на валу електродвигуна:

$$M_{кр} = T \cdot R = P_s \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \cdot R = P_s R \cdot (\sin\varphi + \operatorname{tg} \beta \cos\varphi). \quad (3)$$

Для малих значень кута  $\beta$  з незначною похибкою можна записати, що  $\operatorname{tg} \beta = \lambda \sin\varphi$ . Тоді рівняння (3) можна записати в наступному вигляді:

$$M_{кр} = P_s R \cdot (\sin\varphi + \lambda \sin\varphi \cos\varphi) = P_s R \cdot \left( \sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right). \quad (4)$$

Момент опору рівний за величиною та протилежний за напрямом крутному моменту на валу електродвигуна:

$$M_{он} = -P_s \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \cdot R = -P_s \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta} \cdot R \cdot \operatorname{tg} \beta = -T \cdot R = -M_{кр} \quad (5)$$

Аналітично отримано залежність моменту опору на валу електродвигуна привода автоматичної кавової машини від кутів, що визначають положення ланок кривошипно-шатунного механізму поршня, їх геометричних параметрів та зусилля від стиснення кавового порошку в камері заварного пристрою.

Сила, що виникає в процесі пресування кавового порошку залежить від величини переміщення поршня, його діаметру та маси завантаженої порції кавового порошку:

$$P_s = f(S_\phi; m; D), \tag{6}$$

де  $m$  – маса завантаженої порції кавового порошку;  $D$  – діаметр поршня механізму пресування кавового порошку.

Значення сили  $P_s$  за виразом (6) можна отримати виключно експериментальним шляхом. Для цього було виготовлено експериментальний стенд (рис. 3), що складається: з циліндричного товстостінного пластикового стакану 6, що має внутрішній діаметр 52 мм і висоту 50 мм; поршня 5, діаметром 51,5 мм і висотою 50 мм; П – подібної сталеві рами 4; гайки 3 з різьбленням М6х0,5, яка жорстко закріплена в центральному отворі рами 4; Гвинта 2 М6х0,5 довжиною 100 мм, який має диск 1 для можливості його ручного обертання. Циліндричний стакан встановлюється на робочу плиту електронних ваг 8 Beurer KS 34, що мають наступні характеристики: конструкція з плоскою платформою; максимальна допустима маса вантажу 15 кг; ціна поділки 1 грам; матеріал платформи загартоване скло; функція компенсації тари; розміри ШхГхВ 200х263х20 мм.

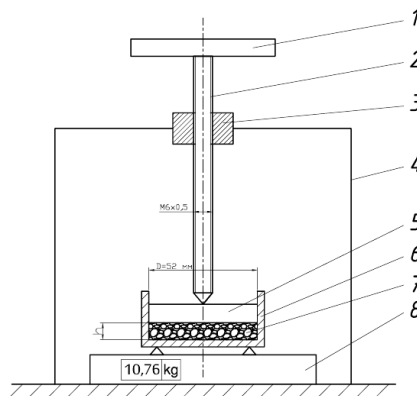


Рис. 3. Схема пристрою для випробувань меленої кави на стиснення:  
1 – поворотний диск; 2 – гвинт; 3 – гайка; 4 – рама; 5 – поршень; 6 – циліндричний стакан;

Для зважування порцій меленої кави використовували електронні ваги Domotec 1728C 0.01, які мають ціну поділки 0,01 грам і максимально допустиму масу вантажу 100 грам. Для проведення випробувань використовувалась готова мелена кави марки «Fort», яка має наступні фізичні характеристики: густина порошку в максимально можливому спресованому стані 450 кг/м<sup>3</sup> (показник отримано на основі аналізу вакуумної упаковки масою 225 грам); насипна густина порошку у вільному стані 320 кг/м<sup>3</sup> (показник отримано шляхом вимірювання об'єму певної маси порошку, що вільно наповнює мірний стакан).

Задля чистоти експерименту пустий мірний стакан було встановлено на електронні ваги Beurer KS 34, після чого здійснювалась компенсація його ваги (кнопка «ТАРА»). Після компенсації індикатор цифровий індикатор електронних ваг показував 0,0 грам.

Порції меленого кавового порошку масою 9, 10 та 11 грамів засипались у відтарований мірний стакан, в який потім вставлявся поршень.

Обертанням диску 1, гвинт 2 загвинчувався в крайнє нижнє положення, про що свідчив початок відліку електронних ваг (1...2 грами) і повертався в протилежну сторону до показання ваги 0 грам.

Потім обертанням диску за годинникову стрілку здійснювалось пресування кави. При цьому через кожний повний оберт (при крокові гвинта 0,5 мм гвинт переміщував поршень на 0,5 мм) фіксувались показники на цифровому дисплеї. Результати випробувань представлені в таблицях 1-3.

Таблиця 1

**Результати випробувань при стисненні 9 грам кавового порошку**

№ п/п	Виміряні показники		Розраховані показники		
	Переміщення поршня $\Delta h$ , мм	Показники ваги Р, Н	Густина $\rho(\Delta h)$ , кг/м <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>	Висота $h$ , мм	Відносна деформація $\varepsilon$ , %
1	0	0	0,32	13	0
2	0,5	2,73	0,338	12,5	3,8
3	1	5,02	0,353	12	7,6
4	1,5	9,27	0,368	11,5	11,4
5	2	17,27	0,385	11	15,2
6	2,5	32,23	0,403	10,5	19
7	3	58,85	0,423	10	22,7
8	3,5	109,44	0,445	9,5	26,5

Таблиця 2

## Результати випробувань при стисненні 10 грам кавового порошку

№ п/п	Виміряні показники		Розраховані показники		
	Переміщення поршня $\Delta h$ , мм	Показники ваги Р, Н	Густина $\rho(\Delta h)$ , кг/м <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>	Висота $h$ , мм	Відносна деформація $\varepsilon$ , %
1	0	0	0,32	14,5	0
2	0,5	3,04	0,335	14,0	4,17
3	1	3,93	0,348	13,5	6,9
4	1,5	7,58	0,362	13,0	10,3
5	2	14,58	0,376	12,5	13,8
6	2,5	26,54	0,392	12,0	17,2
7	3	45,27	0,409	11,5	20,7
8	3,5	70,98	0,427	11,0	24,1
9	4	122,45	0,447	10,5	27,6

Таблиця 3

## Результати випробувань при стисненні 11 грам кавового порошку

№ п/п	Виміряні показники		Розраховані показники		
	Переміщення поршня $\Delta h$ , мм	Показники ваги Р, Н	Густина $\rho(\Delta h)$ , кг/м <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>	Висота $h$ , мм	Відносна деформація $\varepsilon$ , %
1	0	0	0,32	16	0
2	0,5	2,42	0,334	15,5	3,1
3	1	3,87	0,345	15	6,1
4	1,5	6,53	0,357	14,5	9,2
5	2	10,58	0,369	14	12,2
6	2,5	17,58	0,383	13,5	15,3
7	3	29,21	0,398	13	18,4
8	3,5	47,57	0,414	12,5	21,4
9	4	79,06	0,431	12	24,5

Початкову висоту кавового порошку в циліндрі при різній масі завантаження було визначено за формулою:

$$h_0(m) = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho_{нас} \cdot D^2}, \quad (7)$$

де  $\rho_{нас}$  – насипна густина меленої кави у вільному стані;  $D$  – діаметр поршня.

Густину кавового порошку при різних положеннях поршня було визначено за формулою:

$$\rho(h) = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot (h_0 - \Delta h) \cdot D^2}. \quad (8)$$

Висоту кавового порошку в циліндрі при різних положеннях поршня було визначено за формулою:

$$h(\Delta h) = h_0 - \Delta h. \quad (9)$$

Відносну деформацію кавового порошку при різних положеннях поршня було визначено за формулою:

$$\varepsilon(\Delta h) = \frac{h(\Delta h)}{h_0} \cdot 100. \quad (10)$$

За результатами експериментів було виконано апроксимацію чисельних даних методом найменших квадратів (використано програмне забезпечення «Graphical Analysis»). Було отримано функції залежності зусилля, що діє на поршень від його переміщення. Результати обробки даних в програмному середовищі «Graphical Analysis» представлено на рис. 4.

Отримані в результаті апроксимації даних експерименту функції мають наступний вигляд:

– при завантаженні 9 г кавового порошку

$$P_9 = 150 \cdot \exp(1,228 \cdot \Delta h) - 50; \quad (11)$$

– при завантаженні 10 г кавового порошку

$$P_{10} = 224 \cdot \exp(1,002 \cdot \Delta h) - 174; \quad (12)$$

– при завантаженні 11 г кавового порошку

$$P_{11} = 156 \cdot \exp(0,983 \cdot \Delta h) - 59; \quad (13)$$

За отриманими в результаті обробки даних експериментів функціями (11-13) було побудовано відповідні графічні залежності, які представлено на рис. 5

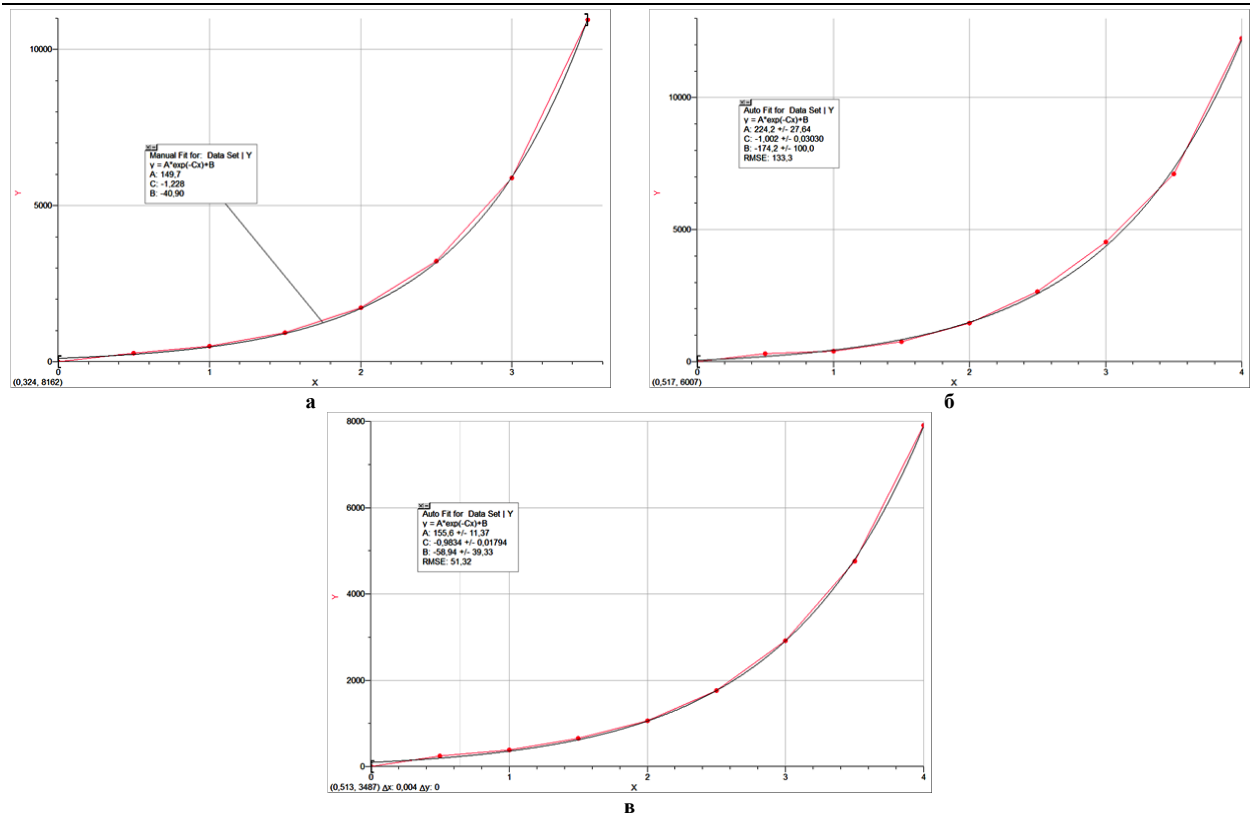


Рис. 4. Результати обробки даних експериментів в програмному середовищі «Graphical Analysis»: а – при завантаженні 9 г кавового порошку; б – при завантаженні 10 г кавового порошку; в – при завантаженні 11 г кавового порошку

З графіків на рис. 5. видно, що інтенсивність зростання навантаження на поршень зростає зі зменшенням маси завантаження. Це можна пояснити припущенням про вплив товщини шару матеріалу в камері стиснення (див. формулу (10), де в знаменнику початкова висота кавового порошку).

Для підтвердження зробленого припущення аналогічним шляхом апроксимації даних було отримано функції залежності зусилля, що діє на поршень від відносної деформації матеріалу:

– при завантаженні 9 г кавового порошку

$$P_9 = 155 \cdot \exp[0,168 \cdot \varepsilon(\Delta h)] - 52 ; \tag{14}$$

– при завантаженні 10 г кавового порошку

$$P_{10} = 233 \cdot \exp[0,144 \cdot \varepsilon(\Delta h)] - 202 ; \tag{15}$$

– при завантаженні 11 г кавового порошку

$$P_{11} = 157 \cdot \exp[0,160 \cdot \varepsilon(\Delta h)] - 63 ; \tag{16}$$

За отриманими в результаті обробки даних експериментів функціями (14-16) було побудовано графічні залежності, які представлено на рис. 6.

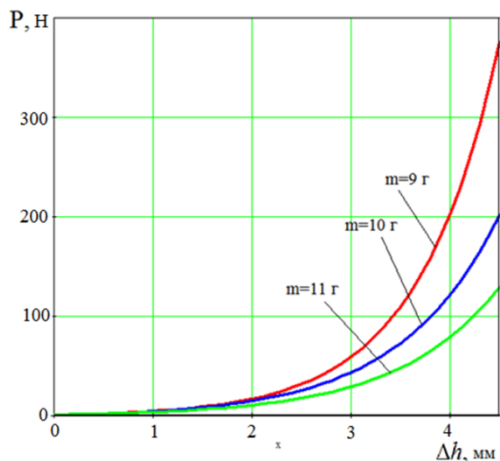


Рис. 5. Графічні залежності зусилля, що діє на поршень від його переміщення при пресуванні порцій кавового порошку різної маси

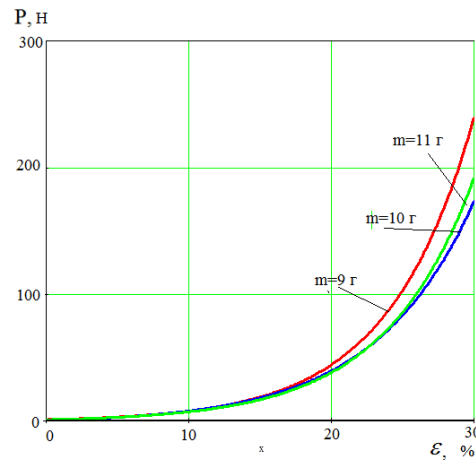


Рис. 6. Графіки залежності зусилля, що діє на поршень від відносної деформації порцій кавового порошку різної маси

З графіків на рис. 6 видно, що вони практично співпадають, тобто відносна деформація матеріалу в циліндрі може слугувати загальним (не залежним від маси завантаження) аргументом функції процесу пресування кавового порошку.

Розглянемо випадок, коли процес подрібнення кави в кавомолці автоматичної кавової машини здійснюється з відхиленням від заданої маси порції 10 грам. При цьому механізм пресування налаштований таким чином, що зусилля пресування не перевищує 100 Н.

При завантаженні в камеру пресування порошку кави різної маси, що обумовлено роботою кавомолки буде різною також висота  $h_0(m)$ . Наприклад, при коливанні маси порошку кави від 9 до 11 грам, висота заповнення камери буде змінюватись в межах, які можна визначити за формулою (7):

$$h_0(9) = \frac{4 \cdot 9}{3,14 \cdot 0,32 \cdot 10^{-3} \cdot 52^2} = 13,2 \text{ мм};$$

$$h_0(10) = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,32 \cdot 10^{-3} \cdot 52^2} = 14,7 \text{ мм};$$

$$h_0(11) = \frac{4 \cdot 11}{3,14 \cdot 0,32 \cdot 10^{-3} \cdot 52^2} = 16,3 \text{ мм}.$$

Тобто різниця висот наповнення буде становити 3,1 мм.

З експоненціальної функції виду  $P = A \cdot \exp(C \cdot \Delta h) + B$  отримуємо формулу для визначення висоти матеріалу в циліндрі кавової машини в залежності від діючого зусилля:

$$\Delta h = \frac{1}{C} \ln \left( \frac{P - B}{A} \right). \quad (17)$$

Підставляючи в (17) значення коефіцієнтів з отриманих нами рівнянь (11-13) визначимо зменшення висоти «таблетки» кавового порошку при дії поршня з зусиллям 100 Н:

$$\Delta h_9 = \frac{1}{1,228} \ln \left( \frac{100 \cdot 10^2 + 50}{150} \right) = 3,4 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{10} = \frac{1}{1,002} \ln \left( \frac{100 \cdot 10^2 + 174}{224} \right) = 3,8 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{11} = \frac{1}{0,983} \ln \left( \frac{100 \cdot 10^2 + 59}{156} \right) = 4,2 \text{ мм}.$$

Висоту стиснутих «таблеток» після прикладення зусилля в 100 Н визначаємо за формулою (9):

$$h(3,4)_9 = 13,2 - 3,4 = 9,8 \text{ мм};$$

$$h(3,8)_{10} = 14,7 - 3,8 = 10,9 \text{ мм};$$

$$h(4,2)_{11} = 16,3 - 4,2 = 12,1 \text{ мм}.$$

Якщо механізм налаштований таким чином, що кінцеве положення поршня відповідає висоті камери 11 мм (розраховане приблизно на 10 грам), то величина стиснення кавового порошку буде:

$$\text{Для 9 грам } \Delta h(9) = 13,2 - 11 = 2,2 \text{ мм};$$

$$\text{Для 10 грам } \Delta h(10) = 14,7 - 11 = 3,7 \text{ мм};$$

$$\text{Для 11 грам } \Delta h(11) = 16,3 - 11 = 5,3 \text{ мм}.$$

За формулами (11-13) визначаємо зусилля після замикання камери:

$$P_9 = [150 \cdot \exp(1,228 \cdot 2,2) - 50] \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 21,9 \text{ Н};$$

$$P_{10} = [224 \cdot \exp(1,002 \cdot 3,7) - 174] \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 99,9 \text{ Н};$$

$$P_{11} = [156 \cdot \exp(0,983 \cdot 5,3) - 59] \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 285,0 \text{ Н}.$$

Тобто, при такому налаштуванні порція кавового порошку масою 9 грам буде не достатньо спресованою, порція масою 10 грам буде спресована в межах заданої норми, а при пресуванні порції масою 11 г відбудеться перевантаження механізму.

Виконуємо апроксимацію чисельних результатів за методом найменших квадратів і отримуємо функцію залежності зусилля пресування від маси завантаження для випадку, що розглядається. Результат розрахунку з використанням програмного забезпечення «Graphical Analysis» представлено на рис. 7.

Отримана функція має вигляд:

$$P(m) = 2,38 \cdot \exp(0,864 \cdot m) - 3491 . \quad (18)$$

Функцію чутливості системи пресування до відхилення маси завантаження від заданого значення можна визначити диференціюванням рівняння (18):

$$\frac{dP(m)}{dm} = 2,05 \cdot \exp(0,864 \cdot m) \quad (19)$$

Графік функції чутливості системи пресування до відхилення маси завантаження від заданого значення 10 грам представлено на рис. 8.

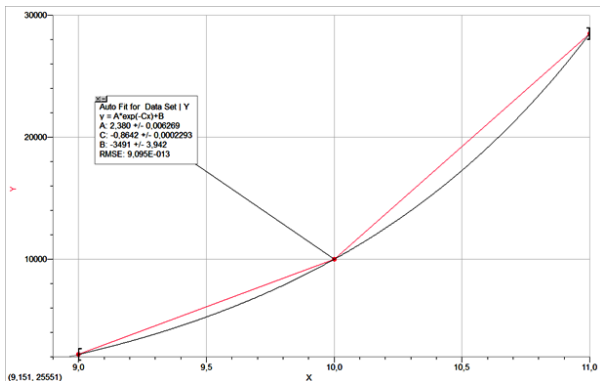


Рис. 7. Графічна залежність зусилля з яким діє поршень від маси завантаження кавового порошку, при налаштованій висоті механізму 11 мм і діаметру камери 52 мм

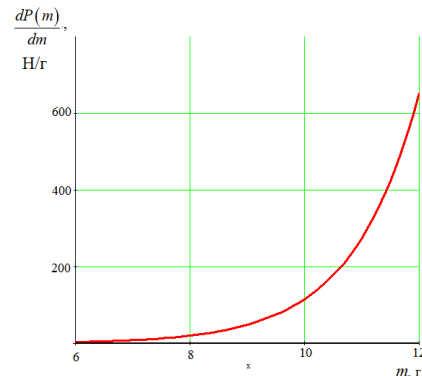


Рис. 8. Графік функції чутливості системи пресування до відхилення маси завантаження від заданого значення 10 грам

З графіка (рис. 8) видно, що чутливість системи контролю маси завантаження за зусиллям, що діє на поршень збільшуються зі збільшенням маси кавового порошку і є «нульовою» при масі 6 грам (поршень цю порцію вже не стискає)

Для контролю маси завантаження за струмом електродвигуна ми можемо тепер отримати передаточну функцію скориставшись отриманими рівняннями (4) і (18). Функція має наступний вигляд:

$$M_{кр} = [2,38 \cdot \exp(0,864 \cdot m) - 3491] \cdot R \left( \sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right). \quad (20)$$

Маючи функцію (20) залежності моменту від маси завантаження і механічну характеристику двигуна постійного струму (вона лінійна), який використовується в приводі можна виконати інженерну розробку системи адаптивного керування приводом автоматичної кавової машини.

### Висновки

Теоретично підтверджено можливість ефективного використання системи адаптивного керування приводом автоматичних кавових машин, при наявності передавальної функції зворотного зв'язку за струмом електродвигуна і математичних залежностей, що адекватно описують процес пресування кави.

Отримано аналітичну залежності моменту опору на валу електродвигуна від зусилля що діє на поршень пресового механізму кавової машини, яка може бути використана для моделювання процесів пресування кавового порошку в автоматичних кавових машинах.

Експериментально визначено основні параметри пресування кавового порошку, які описані функціональними залежностями в результаті апроксимації отриманих даних.

Отримано функцію чутливості системи пресування до відхилення маси завантаження від заданого значення. Встановлено, що чутливість різко зростає по експоненті зі збільшенням маси завантаження кавового порошку в пристрій пресування.

В результаті проведених досліджень можна отримувати передаточні функції системи контролю маси завантаження за струмом електродвигуна .

### Література

1. Кавова машина [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B0\\_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0)
2. Як вибрати кавоварку для дому [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://brayval-coffee.com.ua/ua/kak-vybrat-kofevarku-dlya-doma/>
3. Як обрати кавоварку: характеристика приладів та рекомендації [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://v10.com.ua/statti/rekomendatsiji/jak-obrati-kavovarku-harakteristika-priladiv-ta-rekomendatsiji.html>

4. Выбор кофеварки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://coffe-master.ru/vybor-kofevarki/>
5. Кавоварка для дому: різновиди, особливості, критерії вибору [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://erc.ua/erc-reviews/19195/kavovarka-dlia-domu-riznovidi-osoblivosti-kriteriyyi-viboru/>
6. Основні типи кавомашин [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.procoffee.com.ua/blog/tpost/60dt89cu5c-osnovn-tipi-kavomashin>
7. Рао С. Пособие профессионального баристы / С. Рао. – М. : Студия Артемия Лебедева, 2017. – 200 с.
8. Пат. 10085588 US, МПК А47J 31/40 (2006.01), А47J 31/42 (2006.01), А47J 31/36 (2006.01). Method for automatic adjustment of the quantity of coffee and coffee machine using said method / Gianni Remo, Adelmo Pilone, Riccardo Ziani ; заявник та патентовласник KONINKLIJKE PHILIPS N.V. - № 2008/000097 ; заявл. 15.02.2008 ; опубл. 02.10.2018.
9. Пат. 4659023 US, МПК В02С 25/00. Process and an apparatus for the proportioning of coffee powder in a coffee machine / Frei Hans-Peter, Schmed Arthur ; заявник та патентовласник Gesamat AG, Ballwil, Switzerland. - № 643735 ; заявл. 24.08.1984 ; опубл. 21.04.1987.
10. Пат. 5492054 US, МПК А47J 31/00. Coffee maker with a metering device / Schneeberger Gerard ; заявник та патентовласник Prodana AG, Switzerland. - № 289192 ; заявл. 11.08.1994 ; опубл. 20.02.1996.
11. Пат. 19629239 DE, МПК А47J 31/24, А47J 31/34, А23F 5/26. Vorrichtung zur selbsttätigen Zubereitung von Kaffee / Greiwe Hansdieter ; заявник та патентовласник Pulaх AG, Deutschland. - № 196292395 ; заявл. 19.06.1997 ; опубл. 22.01.1998.
12. Бурдуковский В.Г. Оборудование кузнечно-штамповочных цехов. Кривошипные машины: учеб. пособие / В.Г. Бурдуковский, Ю.В. Инатович.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018.— 168 с.
13. Артоболевський І.І. Теорія механізмів і машин : пер. з 3-го рос. вид. : підручник для машинобудівних вузів / І. І. Артоболевський. - К. : Держтехвидав, 1957. - 696 с.
14. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин : підручник / Я. Т. Кіницький. - К. : Наукова думка, 2002. – 662 с.

## References

1. Kavova mashyna [Coffee machine] URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0> (Last accessed: 25.01.2021) [in Ukrainian].
2. Yak vybraty kavovarku dlia domu [How to choose a coffee machine for home] URL: <https://brayval-coffee.com.ua/ua/kak-vybrat-kofevarku-dlya-doma/> (Last accessed: 25.01.2021) [in Ukrainian].
3. Yak obraty kavovarku: kharakterystyka pryladiv ta rekomendatsii [Choosing a coffee machine, instrument specifications and recommendations] URL: <https://v10.com.ua/statti/rekomendatsiji/jak-obrati-kavovarku-harakteristika-priladiv-ta-rekomendatsiji.html> (Last accessed: 25.01.2021) [in Ukrainian].
4. Vybor kofevarki [Choosing a coffee machine] URL: <http://coffe-master.ru/vybor-kofevarki/> (Last accessed: 25.01.2021) [in Russian].
5. Kavovarka dlia domu: riznovydy, osoblyvosti, kryterii viboru [Coffee machine for home: varieties, especially the selection criteria] URL: <https://erc.ua/erc-reviews/19195/kavovarka-dlia-domu-riznovidi-osoblivosti-kriteriyyi-viboru/> (Last accessed: 25.01.2021) [in Ukrainian].
6. Osnovni typy kavomashyn [The main types of coffee machines] URL: <https://www.procoffee.com.ua/blog/tpost/60dt89cu5c-osnovn-tipi-kavomashin> (Last accessed: 25.01.2021) [in Ukrainian].
7. Rao, S. (2017). *Posobie professional'nogo baristy* [Professional Barista's Guide]. Moscow: Studiya Artemiya Lebedeva [in Russian].
8. Gianni Remo, Adelmo Pilone, Riccardo Ziani, inventors. Method for automatic adjustment of the quantity of coffee and coffee machine using said method. United States patent US 10085588. 2018 Oct 2.
9. Frei Hans-Peter, Schmed Arthur, inventors. Process and an apparatus for the proportioning of coffee powder in a coffee machine. United States patent US 4659023. 1987 Apr 21.
10. Schneeberger Gerard, inventor. Coffee maker with a metering device. United States patent US 5492054. 1996 Feb 20.
11. Greiwe Hansdieter, inventor. Vorrichtung zur selbsttätigen Zubereitung von Kaffee. Deutschland patent DE 19629239. 1998 Jan 22.
12. Burdukovskiy, V.G. (2018). *Oborudovanie kuznechno-shtampovochnykh tsekhov. Krivoshipnye mashiny* [Equipment for forging and stamping shops. Cranking machines]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Urals'kogo universiteta [in Russian].
13. Artobolevs'kyj, I.I. (1957). *Teoriia mekhanizmv i mashyn* [Theory of mechanisms and machines]. Kyiv: Derzhtekhvydav [in Ukrainian].
14. Kinyts'kyj, Ya.T. (2002). *Teoriia mekhanizmv i mashyn* [Theory of mechanisms and machines]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].

Рецензія/Peer review : 27.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК,  
Я.О. ОСАДЧУК, Д.Р. ІЛЬЧУК, Г.О. ПАСТУШЕНКО  
Вінницький національний технічний університет

## ОПТИКО-ЧАСТОТНИЙ ВИТРАТОМІР ГАЗУ

В роботі представлено дослідження оптико-частотного витратоміра газу на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором. Розроблено математичну модель оптико-частотного витратоміра з фоточутливим резистивним елементом, яка дозволила отримати функції перетворення та чутливості. Оптико-частотний витратомір газу створено на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, що складається з двох біполярних транзисторів з пасивним індуктивним елементом. В основі роботи оптико-частотного витратоміра газу лежить інтерферометричний спосіб рефрактометрії оптично прозорих рідин і газів. Від'ємний диференціальний опір, утворений паралельним включенням повного опору з ємністю складовою на електродах транзисторної структури та індуктивності, приводить до виникнення електричних коливань в контурі автогенератора. Використовуючи середовище Matlab, доведено адекватність розробленої математичної моделі. Встановлено, що на виході оптико-частотного витратоміра існують періодичні коливання, частота яких змінюється зі зміною опору фоточутливого резистивного елемента, який залежить від витрат газу. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що зі зростанням витрат газу від 0 л/год до 40 л/год збільшується частота генерації від 434,250 МГц до 434,750 МГц при напрузі живлення 2,8 В, а при напрузі живлення 3,3 В від 435,250 МГц до 435,750 МГц. Показано, що вибором режиму живлення з постійної напруги, можна отримати лінійну залежність частоти генерації від витрат газу та вибирати канали для передачі вимірювальної інформації. Оптимальною напругою живлення є величина 3,3 В, при якій в діапазоні від 20°C до 50°C існує найбільш температурно стабільна робота оптико-частотного витратоміра газу. Проведені дослідження показали, що чутливість розробленого пристрою складає 12,5 кГц/л/год. Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 1,5%.

Ключові слова: оптико-частотний витратомір газу, фоточутливий резистивний елемент, від'ємний диференціальний опір, частота, інтерферометричний спосіб рефрактометрії.

A.V. OSADCHUK, V.S. OSADCHUK, I.O. OSADCHUK, D.R. ILCHUK, G.O. PASTUSHENKO  
Vinnytsia National Technical University

## OPTICAL-FREQUENCY GAS FLOWMETER

The paper presents a study of optical-frequency gas flowmeter based on a transistor structure with a negative differential resistance. A mathematical model of an optical-frequency flowmeter with a photosensitive resistive element has been developed. The optical-frequency gas flowmeter is based on a transistor structure with a negative differential resistance based on two bipolar transistors with a passive inductive element. An interferometric method of refractometry of optically transparent liquids and gases was used to create an optical-frequency gas flowmeter. Negative differential resistance, formed by the parallel inclusion of impedance with a capacitive component on the electrodes of the transistor structure and inductance, leads to electrical oscillations in the circuit of the autogenerator. Using the Matlab environment, the adequacy of the developed mathematical model is proved. It is established that at the output of the optical-frequency flowmeter there are periodic oscillations, the frequency of which changes with the change of the resistance of the photosensitive resistive element. Theoretical and experimental studies have shown that with increasing gas consumption from 0 l/h to 40 l/h increases the generation frequency from 434.250 MHz to 434.750 MHz at a supply voltage of 2.8 V, and at a supply voltage of 3.3 V from 435.250 MHz up to 435.750 MHz. It is shown that by choosing the power supply mode from the DC voltage, it is possible to obtain a linear dependence of the generation frequency on the gas flow rate and to select channels for the transmission of measurement information. The optimal supply voltage is 3.3 V, at which there is the smallest change in the generation frequency in the range from 20 °C to 80 °C. In the temperature range from 20 °C to 50 °C there is the most temperature stable operation of the optical-frequency gas flow meter. Experimental and theoretical studies have shown that the sensitivity of the developed device is 12.5 kHz/l/h. The obtained theoretical and experimental studies have a good match, the relative error does not exceed 1.5%.

Keywords: optical-frequency gas flow meter, photosensitive resistive element, negative differential resistance, frequency, interferometric method of refractometry.

### Постановка проблеми

Сучасне виробництво потребує точного виконання технології виробництва та широкого застосування автоматизації виробничих процесів. Використання вимірювальних перетворювачів зростає з кожним роком, оскільки сенсори фізичних величин проявляють себе в якості ключової технології в процесах автоматизації майже всіх галузей промисловості [1, 4-8]. Крім того, стан сучасної світової економіки суттєво визначається успішним розв'язанням питань створення та серійного випуску автоматичних засобів технічної діагностики, приладів контролю, систем перевірки якості продукції, контролю параметрів довкілля тощо. Ефективність вищезгаданого комплексу технічних засобів, передусім, залежить від якості вимірювальних перетворювачів, які є основними чутливими елементами інформаційно-вимірювальних систем [1, 2, 4-8].

Серед перетворювачів фізичних величин важливе місце посідають перетворювачі витрат газу та рідин, які в останній час мають широкий спектр застосування. Вони необхідні для проведення наукових досліджень, для керування технологічними процесами, для контролю роботи енергетичних установок, для керування літаками і космічними кораблями. Окрім цього, прецизійні перетворювачі витрат газу необхідні в медичній техніці [9].



Тому важливим завданням сучасного приладобудування та вимірювальної техніки є вибір надійних методів вимірювання витрат газу та рідини стосовно різних виробництв, створення радіовимірювальних приладів необхідної точності, стабільності та швидкодії, а також дослідження впливів на результат вимірювань всієї сукупності факторів, які супроводжують вимірювальний процес [9].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Одним з нових наукових напрямків в побудові мікроелектронних витратомірів газу є дослідження в сфері частотних витратомірів на основі транзисторних структур з від'ємним диференціальним опором. Частотні витратоміри газу поєднують як простоту, так і універсальність, які властиві аналоговим пристроям, а також чутливість, точність і високу завадостійкість, які характерні для вимірювальних перетворювачів з кодовим вихідним сигналом.

Дослідження цього наукового напрямку показали, що реактивні властивості та від'ємний диференціальний опір нерозривно пов'язані між собою, а багатофункціональність і простота радіоелектронних пристроїв на основі транзисторних структур з від'ємним диференціальним опором є перспективним напрямком при їх побудові та практичному використанні. Також, застосування принципу перетворення «витрати газу–частота» на основі транзисторних структур з від'ємним диференціальним опором суттєво знижує собівартість інформаційно-вимірювальних систем, дозволяє зменшити масогабаритні характеристики перетворювачів витрат газу, підвищити не тільки чутливість, але і точність перетворення інформативного сигналу – витрати газу в частоту [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

#### **Постановка завдання**

Метою роботи є розроблення та дослідження побудови оптико-частотного витратоміру газу на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, з фоточутливим елементом на основі фоторезистора. Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі: 1) провести аналіз існуючих наукових джерел та обґрунтувати переваги застосування реактивних властивостей напівпровідникових структур з від'ємним диференціальним опором; 2) розрахувати основні характеристики оптико-частотного витратоміру газу, в яких враховано залежність реактивних властивостей напівпровідникових структур з від'ємним диференціальним опором від витрат газу; 3) зробити висновки по проведеному дослідженню.

#### **Теоретичні та експериментальні дослідження оптико-частотного витратоміра газу з фоторезистором**

Для створення оптико-частотного витратоміру газу використаємо інтерферометричний спосіб рефрактометрії оптично прозорих рідин і газів, а в якості фоточутливого пристрою обрано частотний перетворювач на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором.

Розглянемо принцип роботи оптичної частини витратоміра газу. Для забезпечення високої чутливості і точності вимірювання витрат газу у конструкцію введено додаткове дзеркало, яке розміщено на одній оптичній осі з напівпрозорими пластинами та джерелом випромінювання, причому обидва дзеркала розташовані за межами вимірювальної камери з газом, так що в досліджуваному середовищі відсутні об'єкти. Оптико-частотний витратомір газу містить джерело випромінювання, емність з досліджуваним середовищем, напівпрозорі пластини і два дзеркала, які знаходяться на оптичних осях по ходу оптичних променів, а також вузол вимірювання оптичної різниці ходу променів (частотний оптичний перетворювач). Як емність з досліджуваним середовищем використовується трубопровід з газом, виконаний із двома симетрично розташованими відносно осі трубопроводу і за напрямком потоку парами отворів, що закриті оптичними скляними пластинами, крім того додатково міститься ще одне дзеркало. Дзеркала розташовані за межами трубопроводу, причому додаткове дзеркало та напівпрозорі пластини розміщені на одній оптичній осі з джерелом випромінювання.

На рис.1 зображено схему оптико-частотного витратоміру газу. Витратомір газу містить джерело світлового випромінювання 1, яким є світловипромінюючий AsGa діод типу CQY36N (довжина хвилі 950 нм), напівпрозору пластину 2 на оптичній осі променю, промінь світла 3, що відбивається від напівпрозорої пластини 2 та через оптичні скляні пластини 4, 5 потрапляє на дзеркало 6, а промінь світла 7 проходить через напівпрозору пластину 8 на додаткове дзеркало 9 і через оптичні скляні пластини 10, 11 потрапляє на дзеркало 12, відбиті від дзеркал 6 і 12 промені потрапляють в вузол вимірювання оптичної різниці ходу променів (частотний перетворювач на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором) 13 [18]. Додаткове дзеркало 9, а також напівпрозорі пластини 8 і 2 розміщені на одній оптичній осі з джерелом світлового випромінювання 1. В оптико-частотному витратомірі газу в якості фоточутливого елемента використано фоторезистор PGM5505.

Розглянемо принцип роботи оптико-частотного витратоміру газу. Промінь світла від світло - випромінюючого діода падає на напівпрозору пластину 2, одна половина падаючого світлового потоку 3 відбивається напівпрозорою пластинною 2 у напрямку дзеркала 6, друга половина 7 проходить через напівпрозору пластину 8 та розповсюджується в напрямку додаткового дзеркала 9. Пучок 3 проходить через оптичні скляні пластини 4 і 5, відбивається від дзеркала 6 повертається до напівпрозорої пластини 2, двічі проходить через об'єм газу, що характеризується тиском  $p_1$ , коефіцієнтом заломлення  $n_1$ . Потім пучок оптичного випромінювання 3 повертається і, проходячи крізь напівпрозору пластину 2, поширюється в напрямку вузла вимірювання оптичної різниці ходу променів на основі частотного перетворювача. Пучок оптичного випромінювання 7 відбивається від додаткового дзеркала 9, проходить через оптичні скляні

пластини 10 і 11, відбивається від дзеркала 12, двічі проходячи через об'єм газу, що характеризується тиском  $p_2$ , коефіцієнтом заломлення  $n_2$ , відбивається від додаткового дзеркала 9 і повертається до напівпрозорої пластини 2. Пучок оптичного випромінювання 7, що відбився від напівпрозорої пластини 2, розповсюджується в напрямку вузла вимірювання оптичної різниці ходу променів (частотний перетворювач на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором). При дотриманні умов когерентності пучки 3 і 7 будуть інтерферуватись. Результат інтерференції залежить від оптичної різниці ходу променів від напівпрозорої пластини 2 до дзеркал 6 і 12 і назад. Оскільки промінь 3 проходить товщу напівпрозорої пластини 2 тричі, а промінь 7 проходить тільки один раз, тому в конструкцію оптико-частотного витратоміру газу вводять додаткову напівпрозору пластину 8, щоб компенсувати виникаючу оптичну різницю ходу.

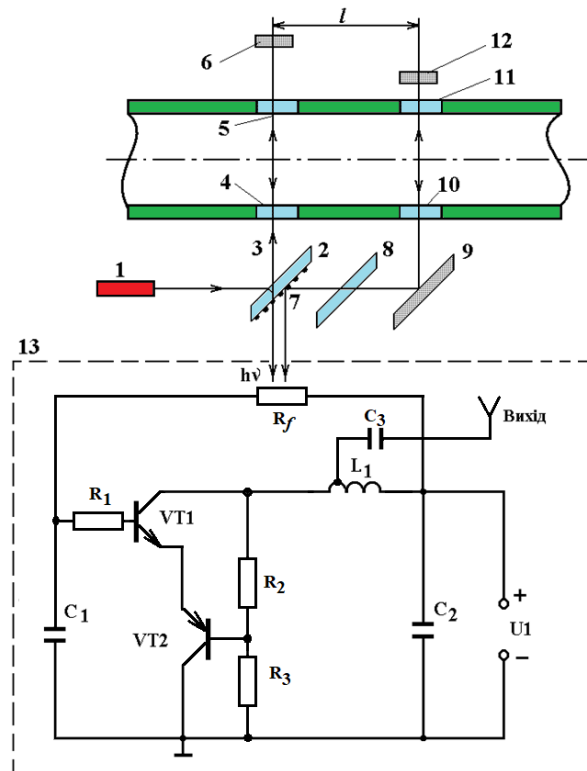


Рис. 1. Схема оптико-частотного витратоміру газу з фоточутливим елементом на основі фоторезистора

Оптичні довжини шляху, який проходять перший і другий промені через об'єм газу, різні при проходженні газу по трубопроводу. Витрати газу зв'язані з різницею тисків у двох перетинах трубопроводу рівнянням [18]

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{8\mu l} \pi R^4, \tag{1}$$

де  $P_1 - P_2$  – різниця тисків у двох перетинах вимірювальної камери оптико-частотного витратоміру газу;  $Q$  – витрати газу;  $l$  – відстань між перетинами вимірювальної камери витратоміру;  $\mu$  – динамічна в'язкість вимірюваного газу;  $R$  – радіус вимірювальної камери.

Рівняння стану ідеального газу описується виразом [19]

$$p = N \cdot k_0 \cdot T, \tag{2}$$

де  $k_0$  – постійна Больцмана;  $N$  – число молекул в одиниці об'єму речовини;  $T$  – абсолютна температура.

Коефіцієнт заломлення газу, витрати якого вимірюються, описується виразом [18]

$$n^2 = 1 + \frac{N}{\epsilon_0} \sum_k \frac{e^2 / m}{\omega_{OK}^2 + \omega^2}, \tag{3}$$

де  $n$  – коефіцієнт заломлення вимірюваного газу;  $\epsilon_0$  – діелектрична проникність;  $e$  – заряд електрона;  $m$  – маса електрона;  $\omega_{OK}$  – власні частоти коливань електронів;  $\omega$  – частота світлового випромінювання.

Різниця оптичного ходу променів 3 і 7 у вимірювальній камері оптико-частотного витратоміру газу визначається за формулою

$$L = (n_1 - n_2)2R. \tag{4}$$

При використанні інтерферометра максимуми інтенсивності інтерферуючих хвиль у вимірювальній камері перетворювача спостерігаються при виконанні наступної умови [19]

$$(n_1 - n_2)2R = \lambda_0 k, \tag{5}$$

де  $\lambda_0$  – довжина хвилі оптичного випромінювання;  $k=0, 1, 2, \dots$  – коефіцієнт, який визначається вузлом вимірювання оптичної різниці ходу променів у вимірювальній камері оптико-частотного перетворювача.

Таким чином, залежність витрат газу від потужності оптичного випромінювання описується виразом

$$Q = z \cdot P \cdot k, \tag{6}$$

де  $z$  – коефіцієнт пропорційності.

Показник різниці ходу променів у вимірювальній камері оптико-частотного витратоміра газу пропорційний одиниці вимірювання витрати газу ( $\text{м}^3/\text{с}$ ). Коефіцієнт пропорційності визначений методом торирування витрат до числа, що виражає відношення оптичної різниці ходу променів до довжини хвилі світла, тобто показанню вузла вимірювання оптичної різниці ходу променів. Результат вимірювання витрат газу запропонованого пристрою визначається у  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Перейдемо до розгляду оптико-частотного витратоміру газу, який складається із двох біполярних транзисторів і реалізує транзисторну структуру з від’ємним диференціальним опором. Ця структура є базовою для побудови оптико-частотного витратоміра газу тому, що вона забезпечує режим роботи в діапазоні надзвичайно високих частот. Електрична схема пристрою подана на рис.1., а структурна схема в інтегральному виконанні на рис.2.

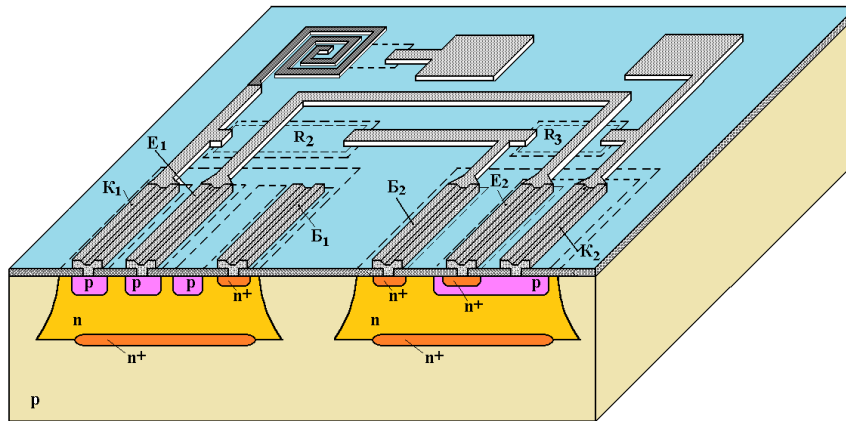


Рис.2. Конструкція оптико-частотного витратоміра газу в інтегральному виконанні

Теоретично і експериментально показано, що на електродах колектор-колектор запропонованої транзисторної структури існує від’ємний диференціальний опір, що відповідає спадаючій ділянці на вольт-амперній характеристиці [9, 11, 12]. Оптико-частотний витратомір живиться від джерела постійної напруги  $U_1$ . Ланцюг  $R_f C_1$  створює додатковий зворотний позитивний зв’язок виходом, а також через опір  $R_f$ , який є фоточутливим елементом, здійснюється керування з постійного струму біполярного транзистора VT1, а ємність  $C_1$  і визначає ємнісну складову повного опору транзисторної структури. Ємність  $C_2$  здійснює блокувальну роль, тобто захищає джерело постійного струму  $U_1$  від струмів надзвичайно високих частот. Коливальний контур утворений пасивною індуктивністю  $L_1$  і ємнісною складовою повного опору транзисторної структури, яка існує на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів.

Для вивчення поведінки оптико-частотного витратоміра газу в динамічному режимі необхідно отримати залежність активної і реактивної складових повного опору на електродах колектор-колектор транзисторної структури, частоти генерації, функції перетворення і чутливості від дії оптичного випромінювання і в кінцевому результаті від витрат газу. Розрахунки зроблені на основі еквівалентної схеми біполярних транзисторів, які складають фоточутливий перетворювач (рис.3).

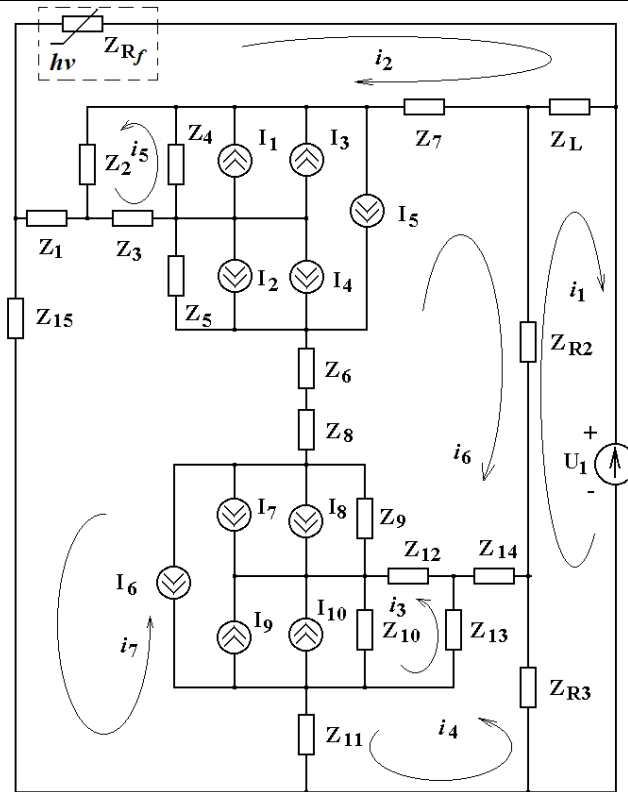


Рис. 3. Еквівалентна схема оптико-частотного витратоміра основи біполярних транзисторів з фоторезистором

Система рівнянь Кірхгофа при врахуванні напрямків контурних струмів має вигляд

$$\left. \begin{aligned}
 U_1 &= (Z_L + Z_{R3} + Z_{R2})i_1 - Z_{R2}i_6 - Z_L i_2 + Z_{R3}i_4, \\
 0 &= (Z_1 + Z_2 + Z_L + Z_7 + Z_{Rf})i_2 + Z_2 i_5 - Z_7 i_6 - Z_L i_1 + Z_1 i_7 + Z_2 I_1 + Z_2 I_3 - Z_2 I_5, \\
 0 &= (Z_{10} + Z_{12} + Z_{13})i_3 - Z_{10} i_7 + Z_{10} I_9 + Z_{10} I_{10} - Z_{10} I_6 - Z_{13} I_9 - Z_{13} I_{10} + Z_{13} I_6 - Z_{13} i_4 + \\
 &+ Z_{12} i_6 - Z_{12} I_{10} - Z_{12} I_9 + Z_{12} I_6, \\
 0 &= (Z_{11} + Z_{13} + Z_{14} + Z_{R3})i_4 - Z_{13} i_3 + Z_{14} i_6 + Z_{R3} i_1 - Z_{11} i_7 + Z_{13} I_9 + Z_{13} I_{10} - Z_{13} I_6, \\
 0 &= (Z_2 + Z_3 + Z_4)i_5 + Z_2 i_2 - Z_3 i_7 + Z_4 i_6 - Z_4 I_1 - Z_4 I_3 + Z_4 I_5 + Z_2 I_1 + Z_2 I_3 - \\
 &- Z_2 I_5 + Z_3 I_1 + Z_3 I_3 - Z_3 I_5, \\
 0 &= (Z_{R2} + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_8 + Z_9 + Z_{12} + Z_{14} + Z_7)i_6 - Z_{R2} i_1 + Z_{14} i_4 + Z_{12} i_3 - Z_{12} I_{10} - \\
 &- Z_{12} I_9 + Z_{12} I_6 + Z_9 i_7 + Z_9 I_7 + Z_9 I_8 + Z_9 I_6 + Z_6 i_7 + Z_8 i_7 + Z_5 i_7 + Z_5 I_2 + Z_5 I_4 + Z_5 I_5 + \\
 &+ Z_4 i_5 - Z_4 I_1 - Z_4 I_3 + Z_4 I_5 - Z_7 i_2, \\
 0 &= (Z_{15} + Z_{11} + Z_{10} + Z_9 + Z_8 + Z_6 + Z_5 + Z_3 + Z_1)i_7 - Z_{11} i_4 - Z_{10} i_3 - \\
 &- Z_{10} I_{10} - Z_{10} I_9 + Z_{10} I_6 + Z_9 i_6 + Z_9 I_8 + Z_9 I_7 + Z_9 I_6 + (Z_6 + Z_8)i_6 + Z_5 i_6 + Z_5 I_2 + \\
 &+ Z_5 I_4 + Z_5 I_5 - Z_3 i_5 + Z_3 I_5 - Z_3 I_1 - Z_3 I_3 + Z_1 i_2,
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_{bc2}(T); \quad I_2 = I_{be2}(T); \quad I_3 = I_{bc1}(T) / \beta_R(T); \quad I_4 = I_{be1}(T) / \beta_F(T); \quad I_5 = I_{be1}(T) - I_{bc1}(T) / Q; \\
 I_1 &= I_{10}; \quad I_2 = I_8; \quad I_3 = I_9; \quad I_4 = I_7; \quad I_5 = I_6; \quad Z_L = j\omega L; \quad Z_{R1} = R_1; \quad Z_{R2} = R_2; \quad Z_{R3} = R_3; \\
 Z_1 &= R'_b + j\omega L_b; \quad Z_2 = -j / \omega C_{bc}(T); \quad Z_3 = R_{bb}(T); \quad Z_4 = -j / \omega C_{jbc}(T); \quad Z_5 = -j / \omega C_{jbe}(T); \\
 Z_6 &= R'_c + R_c(T) + j\omega L_c; \quad Z_7 = R'_c + R_c(T) + j\omega L_c; \quad Z_1 = Z_{14}; \quad Z_2 = Z_{13}; \quad Z_3 = Z_{12}; \quad Z_4 = Z_{10}; \quad Z_5 = Z_9; \\
 Z_6 &= Z_8; \quad Z_7 = Z_{11}.
 \end{aligned}$$

Розв'язок системи рівнянь (7) дав змогу отримати теоретичну залежність вольт-амперної характеристики, активної і реактивної складової повного опору, частоти генерації від зміни оптичної потужності випромінювання оптико-частотного витратоміра газу.

Струми база-емітер  $I_{be}$  і база-колектор  $I_{bc}$  біполярного транзистора описуються виразами [20]:

$$I_{be} = I_S \exp\left(\frac{U_{be}}{NE \cdot V_t} - 1\right), \quad I_{bc} = I_S \exp\left(\frac{U_{bc}}{NC \cdot V_t} - 1\right),$$

де

$$I_S = I_{SS} \exp\left(\frac{U_{js}}{NS \cdot V_t} - 1\right), \quad V_T = kT/q,$$

$U_{bc}$  – напруга база-колектор біполярного транзистора;  $U_{js}$  – контактна різниця потенціалів переходу колектор-підкладка біполярного транзистора;  $U_{be}$  – напруга база-емітер біполярного транзистора;  $I_{SS}$  – зворотний струм р-п переходу підкладки;  $NS$  – коефіцієнт не ідеальності колекторного переходу;  $NE$  – коефіцієнт не ідеальності емітерного переходу біполярного транзистора;  $NS$  – коефіцієнт не ідеальності переходу підкладки.

Заряд в базі біполярного транзистора описується виразом [20]:

$$G_b = G_1(1 + (1 + 4G_2)^{NK})/2,$$

де

$$G_1 = 1/(1 - U_{bc}/U_{AF} - U_{be}/U_{AR}), \quad G_2 = I_{be}/I_{KF} + I_{bc}/I_{KR},$$

$U_{AR}$  – напруга Ерлі в інверсному режимі роботи біполярного транзистора;  $U_{AF}$  – напруга Ерлі в нормальному режимі роботи біполярного транзистора;  $I_{KF}$  – точка початку спаду залежності коефіцієнту підсилення струму в схемі з загальним емітером ( $\beta_F$ ) від струму колектора біполярного транзистора в нормальному режимі;  $I_{KR}$  – точка початку спаду залежності коефіцієнта підсилення струму в схемі з загальним емітером ( $\beta_R$ ) від струму емітера біполярного транзистора в інверсному режимі;  $NK$  – коефіцієнт, обумовлюючий множник  $G_b$ , який дорівнює 0,5.

Об'ємний опір бази біполярного транзистора описується наступним виразом [21]:

$$R_b = \begin{cases} R_{bm} + (R_{bx} - R_{bm})/G_b & \text{за умови } I_{Rb} = \infty, \\ R_{bm} + 3(R_{bx} - R_{bm}) \frac{\operatorname{tg} x - x}{x \cdot \operatorname{tg}^2 x} & \text{за умови } I_{Rb} > 0, \end{cases}$$

де

$$x = \frac{\sqrt{1 + 14,59025 I_b / I_{Rb}} - 1}{2,4317 \sqrt{I_b / I_{Rb}}},$$

$R_{bx}$  – максимальний об'ємний опір бази біполярного транзистора при нульовому зміщенні;  $R_{bm}$  – максимальний опір бази при великих струмах;  $I_{Rb}$  – струм бази біполярного транзистора, з яким опір бази зменшується на 50%.

Система рівнянь (7) розв'язується за допомогою метода Гауса на персональному комп'ютері в середовищі програмного забезпечення "Matlab 9.4". Значення параметрів еквівалентної схеми, які необхідні для теоретичних розрахунків, отримані з робіт [21, 22].

Теоретичні і експериментальні дослідження показали, що активна складова приймає від'ємне значення, а реактивна носить ємнісний характер. Підключення зовнішньої індуктивності до клем колектор-колектор транзисторної структури при від'ємних значеннях активної складової повного опору, коли компенсуються втрати енергії у коливальному контурі, дозволяє створити генератор електричних коливань. Під час дії світла на фоторезистор  $R_f$  здійснюється зміна активної та реактивної складової повного опору, а це в свою чергу, змінює частоту генерації.

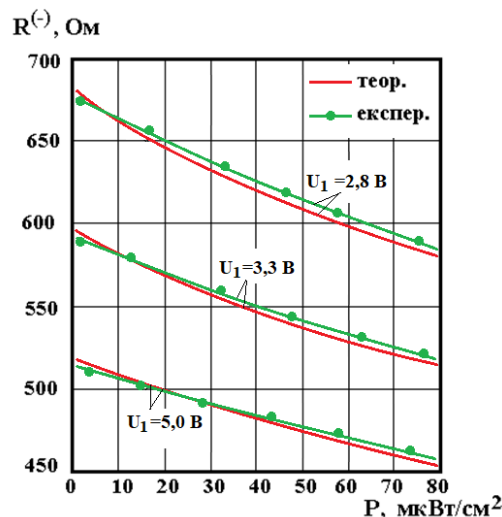


Рис. 4. Теоретична і експериментальна залежність активної складової від потужності оптического випромінювання

На рис.4 подано теоретичну та експериментальну залежності активної складової від потужності оптичного випромінювання при різних значеннях напруги живлення структури. Як показує аналіз наведених кривих, існує майже лінійне зменшення від'ємного диференційного опору із зростанням потужності оптичного випромінювання, причому напруга живлення визначає початкове значення від'ємного диференційного опору. На рис.5 подано експериментальні та розраховані залежності реактивної складової повного опору оптико-частотного витратоміру газу від потужності оптичного випромінювання. З графіка видно, що реактивна складова має емнісний характер і її значення по модулю зменшується зі зростанням потужності випромінювання, причому реактивна складова майже лінійно зменшується зі збільшенням потужності випромінювання від нуля до 80 мкВт/см<sup>2</sup>.

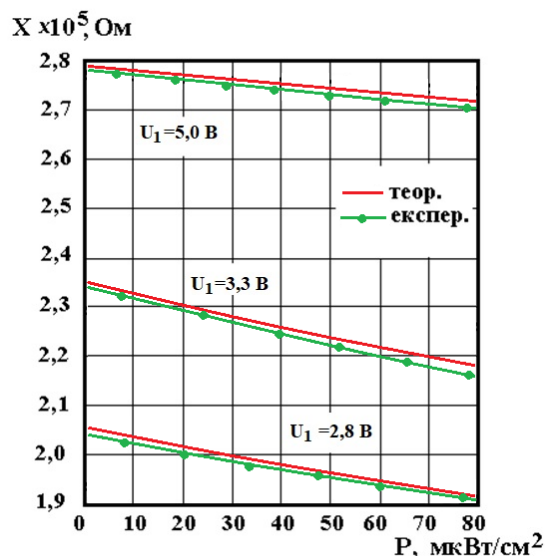


Рис. 5. Теоретична і експериментальна залежності реактивної складової від потужності оптичного випромінювання

На рис.6 подано розрахункові та експериментальні залежності змінної напруги, яка утворюється на виході автогенератора, при зміні потужності оптичного випромінювання. З графіка видно, що зі зростанням потужності світлового потоку збільшується амплітуда змінної напруги, а з другого боку, чим більша напруга живлення, тим в більшій мірі змінюється вихідна напруга від потужності оптичного випромінювання.

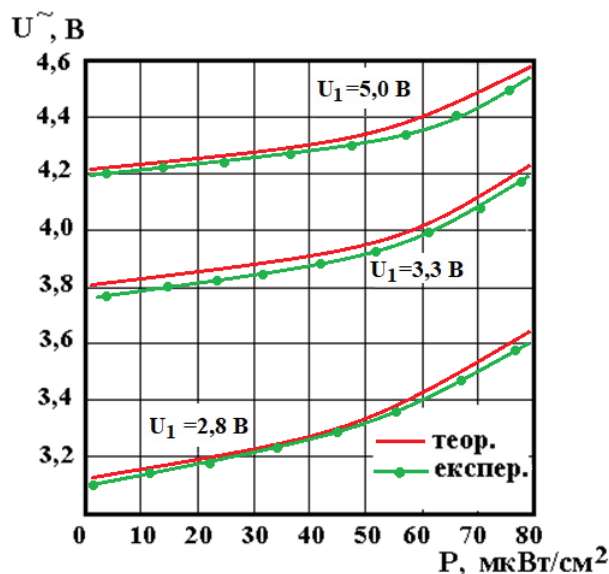


Рис. 6. Залежність вихідної напруги від потужності оптичного випромінювання

Для визначення функції перетворення необхідно знайти залежність частоти генерації від витрат газу. Це можливо зробити розв'язавши систему рівнянь Кірхгофа, яка складена для змінного струму на основі еквівалентної схеми (рис.3).

Розв'язання системи рівнянь (7) дозволяє отримати величину повного опору на електродах колектор-колектор оптико-частотного витратоміра газу. При розділі повного опору на дійсну і уявну складові, неважко визначити еквівалентну ємність коливального контуру, яка залежить від потужності падаючого випромінювання і відповідно до витрат газу. Функція перетворення в цьому випадку має вигляд:

$$F_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(R_f(Q)^2 C_f^2 - C_{ekv} L) + \sqrt{(R_f(Q)^2 C_f^2 - C_{ekv} L)^2 + 0.4 C_{ekv} L R_f(Q)^2 C_f^2}}{C_{ekv} L R_f(Q)^2 C_f^2}} \cdot \pi \quad (8)$$

Чутливість оптико-частотного витратоміра газу визначається формулою:

$$S_Q = \frac{1}{4} \left[ \frac{2R_f(Q)C_f^2 \frac{\partial R_f(Q)}{\partial Q} + \frac{1}{2} \frac{4A_1 R_f(Q)C_f^2 \frac{\partial R_f(Q)}{\partial Q} + 0.8C_{ekv} L R_f(Q)C_f^2 \frac{\partial R_f(Q)}{\partial Q}}{\sqrt{B_1}} - \frac{2 \frac{(R_f(Q)^2 C_f^2 - C_{ekv} L + \sqrt{B_1}) \frac{\partial R_f(Q)}{\partial Q}}{C_{ekv} L R_f(Q)^2 C_f^2}}{\pi \sqrt{\frac{A_1 + \sqrt{B_1}}{C_{ekv} L R_f(Q)^2 C_f^2}}} \right] \quad (9)$$

де  $A_1 = R_f(Q)^2 C_f^2 - C_{ekv} L$ ,  $B_1 = A_1^2 + 0.4 C_{ekv} L R_f(Q)^2 C_f^2$ .

Для експериментального дослідження була розроблена гібридна інтегральна схема оптико-частотного витратоміра газу, яка складається із біполярних транзисторів типу BFR92A та BFT93. Фоточутливим елементом був фоторезистор типу PGM5505. Зовнішня індуктивність виготовлена методом наплення. На рис.7 подано теоретичні і експериментальні залежності функції перетворення сенсора. Як видно з графіка, розбіжність між теоретичними і експериментальними кривими є гарною, що дає змогу вважати правильними теоретичні розрахунки. Адекватність розробленої математичної моделі визначено у вигляді відносної похибки, яка складає  $\pm 1,5\%$ .

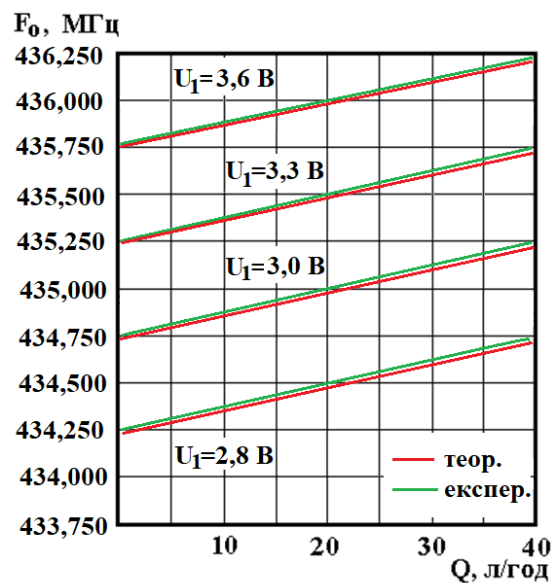


Рис. 7. Теоретична і експериментальна залежність частоти генерації від витрат газу

Вихідна частота оптико-частотного витратоміра газу вибрана в діапазоні 433 – 447 МГц, яка дозволена без ліцензування для малопотужних систем передачі інформації, зокрема для сенсорної техніки в медицині.

Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації показали, що зі зростанням витрат газу від 0 л/год до 40 л/год збільшується частота генерації від 434,250 МГц до 434,750 МГц при напрузі живлення 2,8 В, а при напрузі живлення 3,3 В від 435,250 МГц до 435,750 МГц. Частота 434,250 МГц відповідає 48 каналу діапазону 433 МГц. Дослідження показали, що вибором режиму живлення з постійної напруги, можна отримати лінійну залежність частоти генерації від витрат газу та вибирати канали для передачі вимірювальної інформації. Оптимальною напругою живлення є величина 3,3 В, при якій існує найменша зміна частоти генерації в діапазоні від 20°C до 80°C. В області температур від 20°C до 50°C існує найбільш температурно стабільна робота оптико-частотного витратоміра газу. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження показали, що чутливість розробленого пристрою складає 12,5 кГц/л/год (рис. 8).

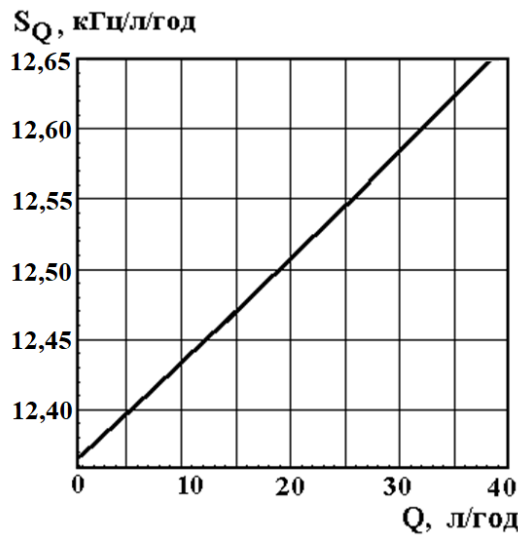


Рис. 8. Залежність чутливості оптико-частотного витратоміра від витрат газу

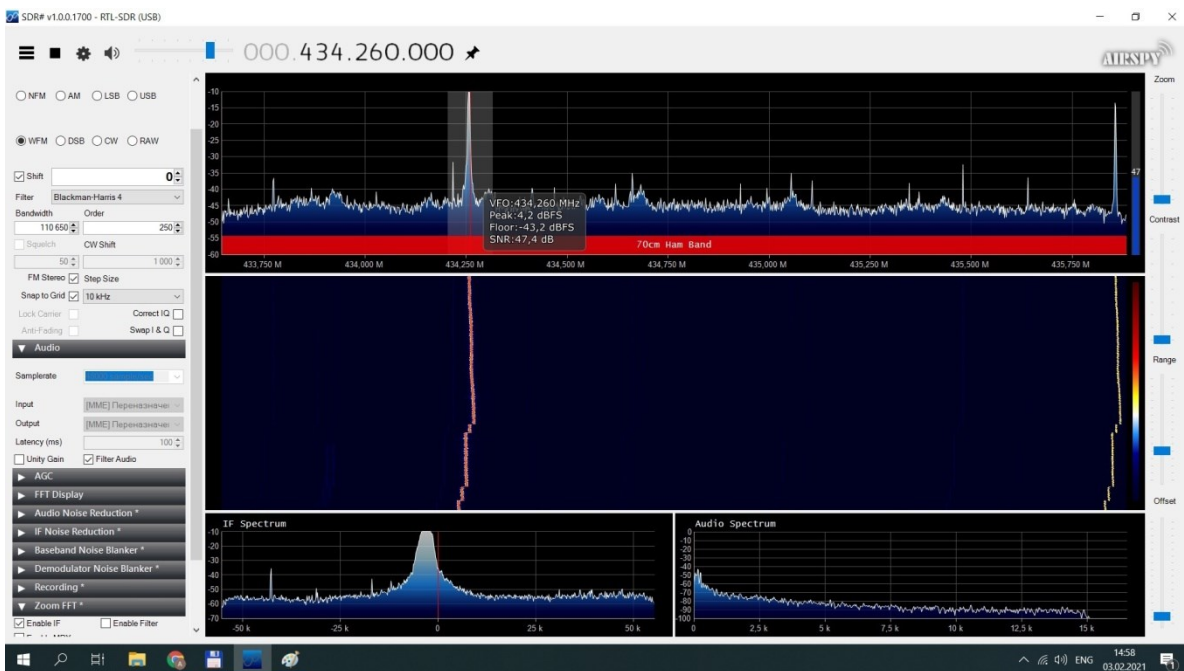


Рис. 9. Спектр передачі оптико-частотного витратоміра без зміни витрат газу

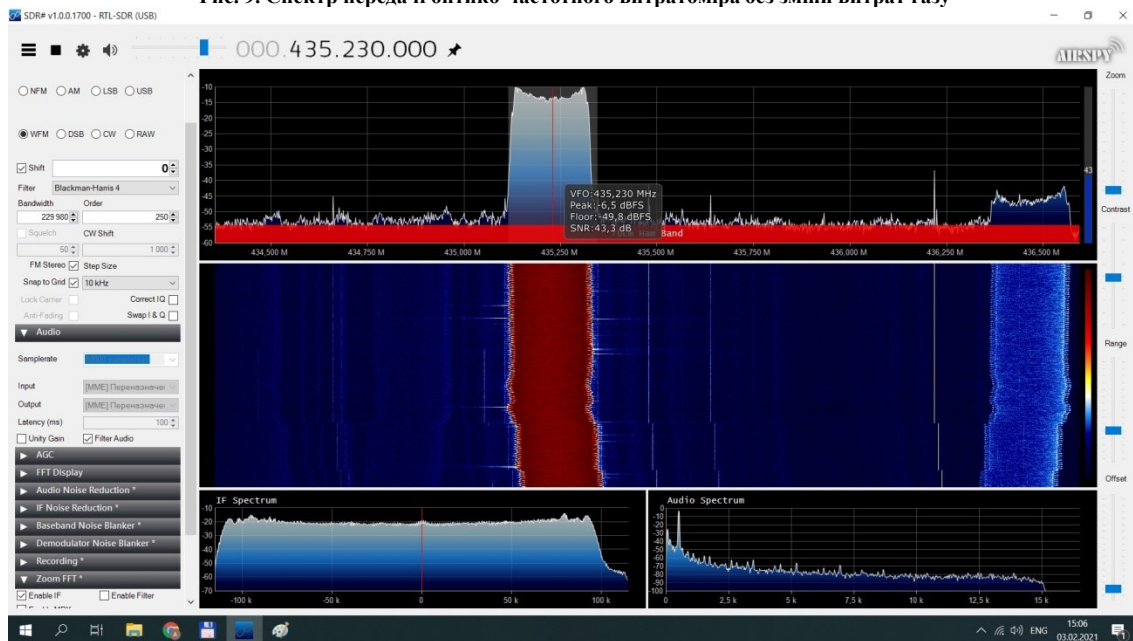


Рис. 10. Спектр передачі оптико-частотного витратоміра при зміні витрат газу від 0 до 20 л/год



На рис.9 та рис.10 представлені скріншоти з програми SDRSharp з приймачем на основі RTL2832U + R820T [23]. Частота дискретизації (ширина смуги приймача) вибрана на рівні 2,5 МГц. Чим більше значення, тим ширше ми будемо бачити смугу на аналізаторі спектра. Вибір ширини смуги пропускання ґрунтується, як правило, на продуктивності комп'ютера. Чим ширша смуга пропускання, тим більше ресурсів необхідно задіяти для програми. Наприклад, ширина пропускання на комп'ютері з процесором Core i5 і оперативною пам'яттю в 16 гігабайт складає 2.5 MSPS. Як видно з рис.9, ширина спектру передачі оптико-частотного витратоміра без зміни витрат газу складає 10 кГц на 48 вибраному каналі (434,250 МГц) при напрузі живлення 2,8 В. На рис.10 представлено спектр оптико-частотного витратоміра на частоті 435,250 МГц (вище 70 каналу) і напрузі живлення 3,3 В видно, що при зміні витрат газу від 0 до 20 л/год ширина спектру передачі збільшується до 250 кГц і займає по ширині 10 каналів. Даний частотний метод модуляції дозволяє збільшити завадостійкість в 2,5 рази та збільшити дальність передачі при мінімальній потужності передачі.

### Висновки

Розроблено математичну модель оптико-частотного витратоміра з фоточутливим резистивним елементом, що дозволило отримати аналітичні залежності функції перетворення та чутливості приладу. Запропоновано конструкцію витратоміру газу на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором на двох біполярних транзисторах з пасивним індуктивним елементом. В основі роботи оптико-частотного витратоміру газу лежить інтерферометричний спосіб рефрактометрії оптично прозорих рідин і газів. Використовуючи середовище Matlab, розраховано основні параметри сенсора газу та доведено адекватність розробленої математичної моделі. Встановлено, що на виході оптико-частотного витратоміра існують періодичні коливання, частота яких змінюється зі зміною витрат газу. Проведені теоретичні і експериментальні дослідження показали, що зі зростанням витрат газу від 0 л/год до 40 л/год збільшується частота генерації від 434,250 МГц до 434,750 МГц при напрузі живлення 2,8 В, а при напрузі живлення 3,3 В від 435,250 МГц до 435,750 МГц. Показано, що вибором режиму живлення з постійної напруги можна отримати лінійну залежність частоти генерації від витрат газу та вибирати канали для передачі вимірювальної інформації. Проведені дослідження показали, що чутливість розробленого пристрою складає 12,5 кГц/л/год. Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 1,5%.

Подальше підвищення чутливості, розширення робочого діапазону частот оптико-частотного витратоміру газу можливо за умови використання фотодіодів і фототранзисторів як фоточутливих елементів.

### Література

1. Schaumburg H. Sensoren. – Stuttgart.: Teubner, 1992. – 517 p.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. Москва: Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012. – 624 с.
4. V. S. Osadchuk, A. V. Osadchuk, and Y. A. Yushchenko, "Radiomeasuring thermal flowmeter of gas on the basis of transistor structure with negative resistance," *Elektronika ir Elektrotechnika*. – Kaunas: Technologija, vol. 84, no. 4, pp. 89-93, 2008.
5. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. / За ред. З. Ю. Готри. – Львів: Ліґа – прес, т.2 ,2002. – 475 с.
6. R.A. Hooshmand and M. Joorabian. Design and optimisation of electromagnetic flowmeter for conductive liquids and its calibration based on neural networks// *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, Vol. 153, No. 4, July 2006
7. Kwang-Jow Gan, Kuan-Yu Chun, Wen-Kuan Yeh. Design of Dynamic Frequency Divider using Negative Differential Resistance Circuit. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 2015. Volume: 3 Issue: 8. pp.5224-5228.
8. Rainer Engell, Hans-Joachim Baade. Determination of liquid flowmeter characteristics for precision measurement purposes by utilizing special capabilities of ptf's "hydrodynamic test field"// Conference: 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement. At: Querétaro, Mexico. 2006. DOI: 10.13140/2.1.1424.0321
9. Osadchuk, A.V., & Osadchuk, V.S. Radiomeasuring microelectronic transducers of physical quantities. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). <https://doi.org/10.1109/sibcon.2015.7147167>
10. Осадчук В. С., Осадчук О. В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. Винница: «Универсум-Винница», 1999. – 275 с.
11. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletskaya O.O., Kisała P., Nurseitova K. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. *Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2019; 111761I (2019).
12. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output. *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104451X (2017).

13. Osadchuk, V.; Osadchuk, V.S.; Osadchuk, I.A.; Kisała, P.; Zyska, T.; Annabaev, A; Mussabekov, K. Radiomeasuring pressure transducer with sensitive MEMS Capacitor. *Przegląd Elektrotechniczny* **2017**, R93(3), pp. 113–116.
14. Yulin Jiang. Study on Weight Function Distribution of Hybrid Gas-Liquid Two-Phase Flow Electromagnetic Flowmeter // *Sensors* 2020, 20, 1431; doi:10.3390/s20051431
15. Jianfeng Chen, Kai Zhang, Leiyang Wang and Mingyue Yang. Design of a High Precision Ultrasonic Gas Flowmeter // *Sensors* 2020, 20, 4804; doi:10.3390/s20174804
16. Mateusz Turkowski, Artur Szczecki and Maciej Szudarek. Minimization of the Settling Time of Variable Area Flowmeters // *Sensors* 2019, 19, 530; doi:10.3390/s19030530
17. Thi Huong Ly Nguyen and Suhyun Park. Multi-Angle Liquid Flow Measurement Using Ultrasonic Linear Array Transducer // *Sensors* 2020, 20, 388; doi:10.3390/s20020388
18. Патент на корисну модель №34077 України, МПК G01 N 21/45. Оптичний витратомір газу з частотним виходом / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк М.В. // Опубл. Бюл. №14 від 25.07.2008.
19. Патент на корисну модель №34121 України, МПК G01 N 21/45. Пристрій для вимірювання витрати газу з частотним виходом/ Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк М.В. // Опубл. Бюл. №14 від 25.07.2008.
20. Sze, S.M.; Kwok, K.Ng. *Physics of Semiconductor Devices*. Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007; pp. 435–455.
21. *User's Guide includes PSPICE A/D, PSPICE A/D Basics and PSPICE Cadence Design Systems*. Inc. All rights reserved, 2016.
22. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. Под ред. В. А. Терехова. – М.: Высшая школа, 1991. –351 с.
23. <https://airspy.com/download/>

## References

1. Schaumburg H. Sensoren. – Stuttgart: Teubner, 1992. – 517 p.
2. Jackson R.G. Latest sensors. – Moscow: Technosphere, 2007. – 384 p.
3. Sensors: Reference Manual / Under total. ed. V.M. Sharapova, E.S. Polishchuk. Moscow: Technosphere, 2012. – 624 p.
4. V. S. Osadchuk, A. V. Osadchuk, and Y. A. Yushchenko, "Radiomeasuring thermal flowmeter of gas on the basis of transistor structure with negative resistance," *Elektronika ir Elektrotechnika*. – Kaunas: Technologija, vol. 84, no. 4, pp. 89-93, 2008.
5. Microelectronic sensors of physical quantities. / Ed. Z. Yu. Gotra. - Lviv: League - Press, vol. 2, 2002. - 475 p.
6. R.A. Hooshmand and M. Joorabian. Design and optimisation of electromagnetic flowmeter for conductive liquids and its calibration based on neural networks// *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, Vol. 153, No. 4, July 2006
7. Kwang-Jow Gan, Kuan-Yu Chun, Wen-Kuan Yeh. Design of Dynamic Frequency Divider using Negative Differential Resistance Circuit. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 2015. Volume: 3 Issue: 8. pp.5224-5228.
8. Rainer Engell, Hans-Joachim Baade. Determination of liquid flowmeter characteristics for precision measurement purposes by utilizing special capabilities of ptb's "hydrodynamic test field"// Conference: 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement. At: Querétaro, Mexico. 2006. DOI: 10.13140/2.1.1424.0321
9. Osadchuk, A.V., Osadchuk, V.S. Radiomeasuring microelectronic transducers of physical quantities. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). <https://doi.org/10.1109/sibcon.2015.7147167>
10. Osadchuk V.S., Osadchuk O.V. Reactive properties of transistors and transistor circuits. Vinnitsa: "Universum-Vinnitsa", 1999. - 275 p.
11. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisała P., Nurseitova K. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. *Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2019; 111761I (2019).
12. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output. *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104451X (2017).
13. Osadchuk, V.; Osadchuk, V.S.; Osadchuk, I.A.; Kisała, P.; Zyska, T.; Annabaev, A; Mussabekov, K. Radiomeasuring pressure transducer with sensitive MEMS Capacitor. *Przegląd Elektrotechniczny* 2017, R93(3), pp. 113–116.
14. Yulin Jiang. Study on Weight Function Distribution of Hybrid Gas-Liquid Two-Phase Flow Electromagnetic Flowmeter // *Sensors* 2020, 20, 1431; doi:10.3390/s20051431
15. Jianfeng Chen, Kai Zhang, Leiyang Wang and Mingyue Yang. Design of a High Precision Ultrasonic Gas Flowmeter // *Sensors* 2020, 20, 4804; doi:10.3390/s20174804
16. Mateusz Turkowski, Artur Szczecki and Maciej Szudarek. Minimization of the Settling Time of Variable Area Flowmeters // *Sensors* 2019, 19, 530; doi:10.3390/s19030530
17. Thi Huong Ly Nguyen and Suhyun Park. Multi-Angle Liquid Flow Measurement Using Ultrasonic Linear Array Transducer // *Sensors* 2020, 20, 388; doi:10.3390/s20020388
18. Patent № 34077 of Ukraine, G01 No. 21/45. Optical flowmeter of gas with frequency output / Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Deundyak V.P., Deundyak M.V. // Publ. Bul. No. 14 dated July 25, 2008.
19. Patent №34121 of Ukraine, G01 No. 21/45. Device for measurement flow gas with frequency output / Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Deundyak V.P., Deundyak M.V. // Publ. Bul. No. 14 dated July 25, 2008.
20. Sze, S.M.; Kwok, K.Ng. *Physics of Semiconductor Devices*. Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007; pp. 435–455.
21. *User's Guide includes PSPICE A/D, PSPICE A/D Basics and PSPICE Cadence Design Systems*. Inc. All rights reserved, 2016.
22. Rosado L. Physical electronics and microelectronics. Ed. V. A. Terekhova. - Moscow: Higher school, 1991.-351 p.
23. <https://airspy.com/download/>

Рецензія/Peer review : 22.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

## МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ НАТЯЖНОЇ СТАНЦІЇ КОНВЕЄРА З КОНТРОЛЕМ ПОЛОЖЕННЯ СТРІЧКИ ТА НАТЯГУ НА ВАЛАХ

*В статті розглядається система контролю натягу барабану натяжної станції стрічкового конвеєра. Система здатна контролювати положення стрічки на натяжному валу та компенсувати її зсув вздовж нього. Розроблена модель натяжної станції у SolidWorks, визначено основні матеріали та розраховані навантаження, що діють на вали. При виборі двигунів звертали увагу на високий момент на валу двигуна при досить малій габаритній живленні від мережі постійного струму. Високий момент забезпечує легке переміщення столика катка при досить великому зусиллі стрічки тому при запуску конвеєра значення натягу стрічки з пульта керування цілком буде знаходитись в допустимих межах. Також натяжна станція є повністю автоматизована і регулювання частоти і напрямку обертання повністю контролюється розробленою системою на базі плати ARDUINO, програмування якої здійснено за допомогою додатку Tinkercad.*

*Ключові слова: моделювання, натяжна станція, вал, Arduino*

O.M. SINYUK, S.L. HORIASHCHENKO, G.M. DRAPAK, Yu.V. KRAVCHIK  
Khmelnytsky National University

### SIMULATION OF THE AUTOMATED TENSIONING STATION OF THE CONVEYOR WITH CONTROL OF POSITION OF THE BELT AND TENSION ON SHAFTS

*The article considers the control system of the drum tension of the tension station of the belt conveyor. The system is able to control the position of the belt on the tension shaft and compensate for its displacement along it. Expensive components and parts were used in the design of this tensioning station, but its full automation justifies itself because it can work without an operator, in harmful and dangerous conditions for human health. Developed models in SolidWorks allow you to clearly see the exact design model of the tension station. In the process of designing the drive of the tension station, the type of transmission was chosen - it is the transmission of screw-nut friction. Selected materials for the screw - steel 45 and for the nut - bronze BrOTSS6-6-3. Adopted a square one-western right-hand carving. The geometric parameters of the screw were determined. In the above calculations, we chose a DC motor series PBV100M. Then the modeling of the working unit was carried out. When choosing a transmission, attention was paid to its reliability and accuracy, because the drum of the tension station, in our case, has to be shifted by a sufficiently short distance to ensure the continuous operation of the conveyor. Attention was also paid to the choice of engines. When choosing the motors of the PBV100M series, attention was paid to a fairly high torque on the motor shaft with a fairly small size and power supply from the DC network. The high moment provides easy movement of a table of a skating rink at rather big effort of a tape therefore at start of the conveyor value of a tension of a tape from the control panel is quite admissible. Also, the tension station is fully automated and the regulation of frequency and direction of rotation is fully controlled by a developed system based on the ARDUINO board, which is programmed using the app Tinkercad.*

*Key words: modeling, tension station, shaft, Arduino*

### Постановка проблеми

Натяжна станція призначена для натягу стрічки конвеєра [1]. Натяжні станції бувають різних типів, але призначення і принцип дії майже однакові. В залежності від габаритів і ступеню натягу станція приводиться в рух в ручну або електродвигуном. Рух здійснює через передачу гвинт-гайка або через черв'ячну передачу ведений барабан, який кріпиться на напрямляючі осях, рухається вперед-назад по осі паралельній площині руху стрічки [1, 2].

В даній системі існує багато різноманітних пристроїв, які реалізують селекцію видів в часі. Вузлом який буде проектуватися є передача гвинт-гайка.

Передача гвинт-гайка служить для перетворення обертаючого руху в поступовий рух, при цьому гайка і гвинт можуть мати або одне з названих рухів, або два рухи разом. В даному випадку гайка створює поступальний рух відносно гвинта. Передача гвинт-гайка широко використовується для створення великих сил (преси, домкрати, тиски та т.п.); для точних переміщень (механізми подачі верстатів, вимірювальні прилади, встановлювальні та регулюючі пристрої). Матеріали гвинта та гайки повинні складати антифрикційну пару, тобто бути зносостійкими, мати невисокий коефіцієнт тертя. Вибір марки матеріалу залежить від призначення матеріалу, умов роботи та способу обробки різьби. Для гвинтів рекомендуються сталі Ст5, 45, 50, 40ХГ та ін. В відповідальних передачах для підвищення зносостійкості використовують загартовування гвинтів з послідуочим шліфуванням різьби [3].

Гайки відповідальних передач виготовляють із Бр010Ф1, Бр05Ц5С5 та ін., а в тихохідних передачах – із антифрикційних чавунів АЧВ-1, АЧС-3 та ін. Переваги: простота конструкції та виготовлення; компактність при високій навантажувальній спроможності; висока надійність; плавність та безшумність; великий вигравш в силі; можливість забезпечення повільних переміщень з великою точністю. Недоліки: підвищений знос різьби внаслідок великого тертя; низький к.к.д [3]

На збільшення зносу матеріалів впливає також характер роботи під навантаженням, а саме при збільшенні дотичної сили. Ця сила виникає внаслідок перекосу валів або зміщення навантаження відносно центра.

### Основні частина

Система яка здатна корегувати натяг та положення стрічки на валах може не тільки більш якісно транспортувати навантаження а й зменшити знос елементів натяжної станції. На рис.1 зображений

загальний вигляд натяжної станції, що пропонується. Всі елементи натяжної станції закріплюються на основі 1. Барабан 2 закріплюється на столі-катку 4, який в свою чергу здійснює поступальний рух вздовж основи 1, рух по напрямляючи здійснюється завдяки чотирьом металевим колесам 3. В столика-катка 4 кріпиться гайка для створення передачі гвинт-гайка. Гвинт 5 через муфту з'єднується з валом двигуна 6. При подаванні напруги на двигун 6 з пульта управління 7, вал двигуна 6 починає обертатися тим самим через муфту обертає гвинт 5, через передачу гвинт-гайка обертовий рух двигуна перетворюється в поступальний рух столика-катка 4, тим саме відбувається натяг або ослаблення стрічки конвеєра. Натяг стрічки контролюється пультом управління 7 автоматично. На основі 1 закріплений датчик натягу 8. Сигнал з датчика потрапляє на пульт управління де перетворюється за допомогою АЦП на цифровий сигнал і подається на мікроконтролер. Після обробки сигнал подається на ЦАП потім через підсилювач на два двигуни. Вали двигунів повинні обертатися з однаковою швидкістю для рівномірного натягу. Сила натягу контролює цей же датчик натягу 8. Якщо не буде торкатися ролика датчика то це буде сигналом для двигунів обиратися в іншу сторону тобто ослаблювати до певного натягу, значення якого буде запрограмоване пультом управління. В роботі стрічка може зміщуватися на барабані вправо чи вліво. Для запобігання цього на столик-катку розташовані датчики сходу стрічки 9. Робота датчиків базується на принципі роботи тахогенератора. При дотику до стрічки вона починає обтирати корпус датчика сходу, на пульт управління подається сигнал і через АЦП подається на мікроконтролер, після чого сигнал оброблюється і через ЦАП та підсилювач подається на двигун. Обертаючись двигун послаблює ту сторону з якої сходить стрічка (протилежну датчику сходу), після чого стрічка послаблюється внаслідок чого спрацьовує датчик натягу. Встановлення допоміжний пристроїв забезпечує повну автоматизацію даної натяжної станції. Блок схема автоматичного керування показана на рис.2.

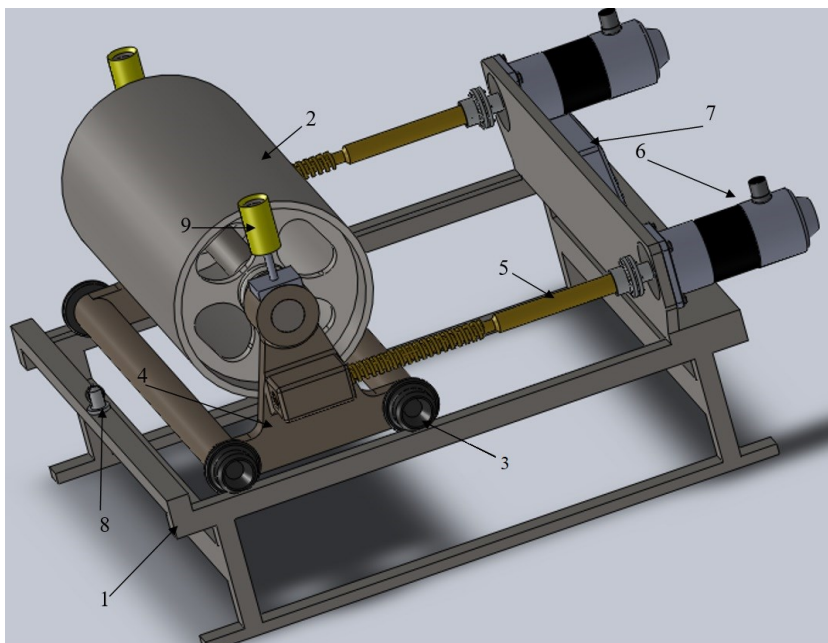


Рис.1 - Зовнішній вигляд натяжної станції конвеєра

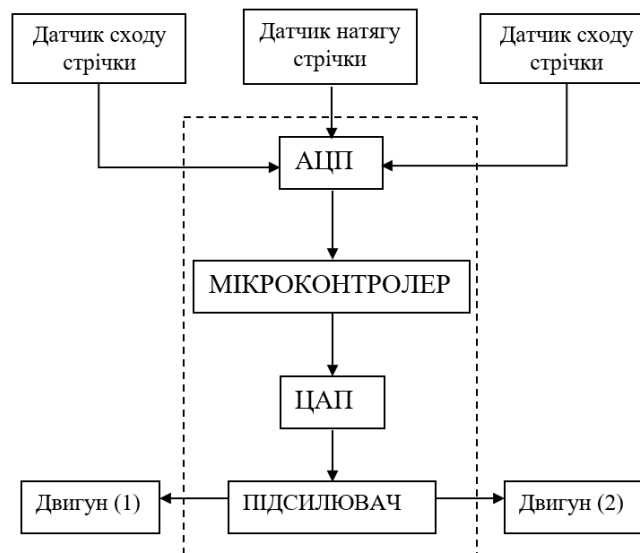


Рис.2 - Блок-схема роботи автоматичного керування натяжної станції

Об'єктом моделювання є передача гвинт-гайка. Математична модель приводу побудована у обертовій системі координат, що дозволило одною системою рівнянь представити станцію як машину з перетвореними координатами та фазами. Управління здійснюється проекцією та струмами, потোকосцепленими й напрямками на координатних осях, що являє собою чотири координати стану:  $Y = (y_1, y_2, y_3, y_4)^T$ , де  $y_1$  – модуль потোকосцеплення ротора приводу,  $y_2$  – проекція струму ротора на уявну вісь обертової системи координат,  $y_3$  – проекція струму статора на уявну вісь обертової системи координат,  $y_4$  – частота обертання ротора. В такому разі синтез регулювання швидкості руху конвеєра залежить від навантаженості та натягу стрічки.

У залежності від навантаження на електропривод потрібно визначити параметри передачі. Сила яка діє на діє на натяжну станцію  $F$ , хід натяжної станції  $L$ . Назначаємо матеріали для гвинта – сталь 45 і для гайки – бронза БрОЦС6-6-3. Приймаємо квадратну одно західну праву різьбу. Для визначення середнього діаметру різьби гвинта і гайки  $d_2$  із розрахунку на зносостійкість приймаємо відношення висоти гайки до середнього діаметру різьби  $k = H / d_2$  і допускаємо тиск для різьби  $[q]$ . Для стійкості гвинта потрібно щоб виконувалася умова  $[F] \geq F_{KP} / S$ . Обираємо середній діаметр гвинта  $d_2 = 20$  мм. Висота профіля різьби  $h = 0.1d_2 = 2$  мм. Надійність гвинта забезпечена, так як в натяжній станції використовується два гвинта і діюча сила  $F = 2$  кН, що дорівнює допустимій  $[F] = 1кН$ .

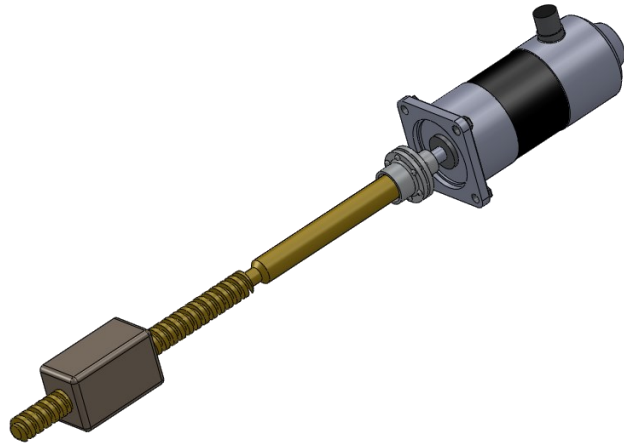
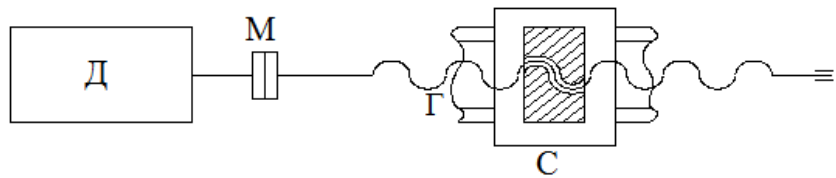


Рис 3. Вузол проектування



Д – двигун; М – муфта; Г – гвинт; С – столик каток.

Рис. 4. Фізична модель електромеханічної системи передачі гвинт-гайка:

Д – двигун; М – муфта; Г – гвинт; С – столик каток.

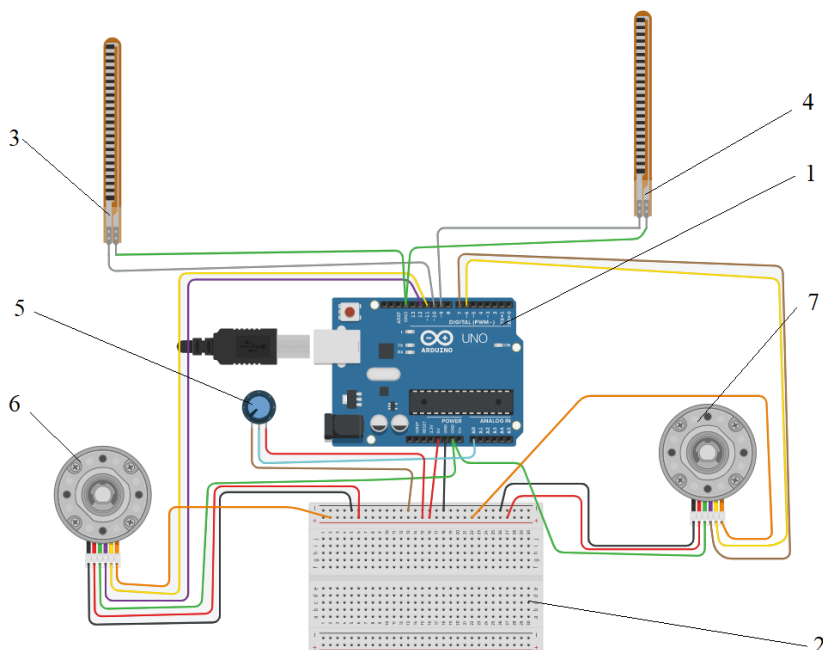


Рис. 5. Модель управління та контролю натягу на валах стрічкового конвеєру

Визначивши необхідні зусилля можемо приступити до розробки самої системи контролю положення стрічки та натягу на валах конвеєра (КПСНВ). Дана система базується на платі Arduino 1 (див. Рис.5) яка має макетну плату для монтажу. Для автоматизації були встановлені датчик натягу стрічки 3 та датчики сходу стрічки 4, 5. Плата здійснює керування електродвигунами 6,7. Програмування здійснювалось у програмному середовищі Tinkercad. Моделювання роботи створеної системи КПСНВ показало достатньо високу швидкодію перенастроювання положення валу конвеєра та його натягу.

### Висновки

В проектуванні даної натяжної станції використовувалися дорогі вузли і деталі, але її повна автоматизація виправдовує себе оскільки воно може працювати без оператора, в шкідливих і небезпечних умовах для здоров'я людини. Розроблені моделі в SolidWorks дозволяють наглядно побачити точну модель проектування натяжної станції. В процесі проектування приводу натяжної станції було обрано вид передачі – це передача гвинт-гайка тертям. Обраними матеріалами для гвинта – сталь 45 і для гайки – бронза БрОЦС6-6-3. Прийняли квадратну одно західну праву різьбу. Визначено геометричні параметри гвинта. При приведених розрахунках обрано двигун постійного струму серії ПБВ100М. Після чого було проведено моделювання самого робочого вузла. При виборі передачі була звернута увага щодо її надійності і точності, оскільки барабан натяжної станції, в нашому випадку, доводиться зміщувати на досить малу відстань, для забезпечення безперервної роботи конвеєра. Також була звернута увага на вибір двигунів. При виборі двигунів серії ПБВ100М звернули увагу на досить високий момент на валу двигуна при досить малі габарити і живлення від мережі постійного струму. Високий момент забезпечує легке переміщення столика катка при досить великому зусиллі стрічки тому при запуску конвеєра значення натягу стрічки з пульта керування буде знаходитись в допустимих межах. Також натяжна станція є повністю автоматизована і регулювання частоти і напрямку обертання повністю контролюється розробленою системою на базі плати ARDUINO, програмування якої здійснено за допомогою додатку Tinkercad.

### Література

1. Курсове проектування приводів. Методичні вказівки для студентів механічних спеціальностей / І.М. Пастух, Ю.Ф. Добжанський, -Хмельницький: ТУП, 1999.-92 с.
2. Кондрахин В.П. Математическая модель для исследования нагрузок в двухскоростном многодвигательном приводе и тяговом органе скребкового забойного конвейера / В.П. Кондрахин, А.А. Мельник // Наукові праці ДонНТУ. Серія: гірничо-електромеханічна. – 2008. – Вип. 16 (142). – С. 132–140
3. ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА, Електронний конспект лекцій. URL: [http://www.shevchenkove.org.ua/person\\_syte/Page/Metodrobota/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/Dokument/%D0%A2%D0%9C%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97/Lekzia/3.5.htm](http://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Page/Metodrobota/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/Dokument/%D0%A2%D0%9C%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97/Lekzia/3.5.htm)
4. Хачатрян С.А., Деревяшкин И.В. Математическая модель переходных процессов многоприводного ленточного конвейера // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 7-1. – С. 37-41; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11687>.
5. Дмитриева В.В., Куанг Пьей Аунг, Вин Зо Хтэй Поддержание величины тягового фактора ленточного конвейера с двухдвигательным приводом // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 10. – С. 20-28; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35151>.
6. Щетинін В. Т. Навчальний посібник з дисципліни «Верстати з паралельної кінематики» / В. Т. Щетинін, О. Ф. Саленко, М. С. Хорольська. – Кременчук : Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2017. – 99 с.
7. Systems of vibration parameters automated control for diagnostics of equipment technical state// Serhiy Horiashchenko, Oleg Polishchuk, Marcin Łukasiewicz, Maciej Matuszewski and Vladimir Boykov// MATEC Web of Conferences; Les Ulis, 332, - 2021. [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/01/mateconf\\_diagnostyka2020\\_01013.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/01/mateconf_diagnostyka2020_01013.pdf)
8. Diagnosis of multilayer structures and composite parts by multifrequency phase detection/Janusz Musiał, Serhiy Horiashchenko, Kostyantyn Horiashchenko, Joanna Wilczarska// MATEC Web of Conferences; Les Ulis, 332, - 2021. les <https://search.proquest.com/openview/f07361e91e4186ecb0c165629de0f079/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2040549>
9. Стрельбицкий В.В. Экспериментальное исследования демфирующей способности рамы виброупрочняющей установки/ В.В. Стрельбицкий С.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах/ – 2016 № 1 - С.27-30. <http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/5088/1/%D0%93%D0%9E%D0%A0%D0%AF%D0%A9%D0%95%D0%9D%D0%9A%D0%9E.pdf>
10. Стрельбицкий В.В. Некоторые результаты исследования толщины прослойки на демфирующую способность трехслойных балок / В.В. Стрельбицкий, С.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015 – № 1 – С.182-186 [http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/4175/1/vott\\_2015\\_1\\_34.pdf](http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/4175/1/vott_2015_1_34.pdf)

## References

1. Kursove proektuvannya pryvodiv. Metodychni vказivky dlya studentiv mexanichnyx special"nostej / I.M. Pastux, Yu.F. Dobzhans"kyj,-Xmel"nyc"kyj: TUP, 1999.-92 s.
2. Kondraxyn V.P. Matematycheskaya model" dlya yssledovannya nahruzok v dvuxskorostnom mnohodvyhatel"nom pryvode y tyahovom orhane skrebkovoho zaboynoho konvejera / V.P. Kondraxyn, A.A. Mel"nyk // Naukovi praci DonNTU. Seriya: himycho-elektromexanichna. – 2008. – Vyp. 16 (142). – S. 132–140
3. TEXNICHNA MEXANIKA, Elektronnyj konspekt lekcij. URL: [http://www.shevchenkove.org.ua/person\\_syte/Page/Metodrobota/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/Dokument/%D0%A2%D0%9C%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97/Lekzia/3.5.htm](http://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Page/Metodrobota/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/Dokument/%D0%A2%D0%9C%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97/Lekzia/3.5.htm)
4. Xachatryan S.A., Derevyashkyn Y.V. Matematycheskaya model" perexodnyx processov mnohopryvodnogo lentochnoho konvejera // Mezhdunarodnyj zhurnal prykladnyx y fundamental"nyx yssledovanyj. – 2017. – № 7-1. – S. 37-41; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11687>.
5. Dmytryeva V.V., Kuanh P"ej Aunh, Vyn Zo Xtaj Podderzhanye velychyny tyahovoho faktora lentochnoho konvejera s dvuxdvyhatel"nym pryvodom // Sovremennye naukoemkye tehnolohyy. – 2015. – № 10. – S. 20-28; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35151>.
6. Shhetynin V. T. Navchal"nyj posibnyk z dyscypliny «Verstaty z paralel"noyi kinematyky» / V. T. Shhetynin, O. F. Salenko, M. S. Xorol"s"ka. – Kremenчук : Kremenчuc"kyj nacional"nyj universytet imeni Myxajla Ostrohrads"koho, 2017. – 99 s.
7. Systems of vibration parameters automated control for diagnostics of equipment technical state// Serhiy Horiashchenko, Oleg Polishchuk, Marcin Łukasiewicz , Maciej Matuszewski and Vladimir Boykov// MATEC Web of Conferences; Les Ulis, 332, - 2021. [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/01/mateconf\\_diagnostyka2020\\_01013.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/01/mateconf_diagnostyka2020_01013.pdf)
8. Diagnosis of multilayer structures and composite parts by multifrequency phase detection/Janusz Musiał, Serhiy Horiashchenko, Kostyantyn Horiashchenko, Joanna Wilczarska// MATEC Web of Conferences; Les Ulis, 332, - 2021. <https://search.proquest.com/openview/f07361e91e4186ecb0c165629de0f079/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2040549>
9. Strel"byckyj V.V. Eksperymental"noe yssledovannya dempfyruyushhej sposobnosti ramy vybrouprochnyayushhej ustanovky/ V.V. Strel"byckyj S.L. Horyashhenko // Vymiryuval"na ta obchyslyuval"na tehnika v tehnolohichnyx procesax/ – 2016 № 1 - C.27-30. <http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/5088/1/%D0%93%D0%9E%D0%A0%D0%AF%D0%A9%D0%95%D0%9D%D0%9A%D0%9E.pdf>
10. Strel"byckyj V.V. Nekotorye rezul"taty yssledovannya tolshhyny proslojky na dempfyruyushhuyu sposobnost" trexslujnyx balok / V.V. Strel"byckyj, S.L. Horyashhenko // Vymiryuval"na ta obchyslyuval"na tehnika v tehnolohichnyx processax. – 2015 – № 1 – S.182-186 [http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/4175/1/vott\\_2015\\_1\\_34.pdf](http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/4175/1/vott_2015_1_34.pdf)

Рецензія/Peer review : 16.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

DOI 10.31891/2307-5732-2021-293-1-176-182

УДК 677.017.42

С.Ю.БОБРОВА, Л.Є. ГАЛАВСЬКА, В.І. БЕЗСМЕРТНА

Київський національний університет технологій та дизайну

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ В'ЯЗАННЯ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ НА ВТРАТУ МІЦНОСТІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ НИТОК

У статті представлено результати дослідження впливу умов в'язання та заправних даних в'язального обладнання на втрату міцності кулірного трикотажу з високомолекулярних поліетиленових ниток. Встановлено, що визначальний вплив на величину розривального навантаження на нитку після її переробки на в'язальному обладнанні має величина лінійної густини нитки. На втрату міцності нитки після в'язання найбільший вплив має зусилля відтягування полотна. Одержані регресійні залежності, що характеризують вплив технологічних параметрів на втрату міцності високомолекулярної поліетиленової нитки, можуть бути використані для встановлення оптимальних параметрів в'язання трикотажу, призначеного для виготовлення засобів індивідуального захисту або іншого асортименту виробів технічного призначення з високими показниками міцності та стійкості до різних механічних ушкоджень.

Ключові слова: кулірний трикотаж, переплетення гладь, глибина кулірування, розривальне навантаження, сировина підвищеної міцності, поліетиленова нитка, втрата міцності.

S. Yu. BOBROVA, L.Ye. HALAVSKA, V.I. BEZSMERTNA

Kyiv National University of Technologies and Design

## INFLUENCE OF KNITTING PROCESS ON LOSS OF HIGH-MOLECULAR POLYETHYLENE YARNS STRENGTH

The current priority in the development of high-strength knitwear is to study the behavior of high-strength yarns in the knitting process and maintain their strength characteristics after knitting. The article presents results of the study of the influence of knitting conditions and setting-up parameters on the loss of strength of weft knitted fabrics made of high molecular weight polyethylene yarns.

For knitted fabrics manufacturing ultra high molecular weight polyethylene yarn 44.4 tex and 44.4x3 tex is used. The experimental knitting samples were made by plain structure at flat knitting machine 8-gauge. The breaking characteristics of the yarns are set in accordance with DSTU ISO 2062: 2004 on tensile-testing machine KT-7010AZ. As a result of the complete three-factor experiment, regression mathematical models were obtained that adequately describe the influence of knitting parameters on the breaking load and loss of strength of polyethylene threads after their processing into the knitwear structure. As the controlled factors knockover depth, takedown traction and the linear density of the yarn were chosen. The linear density of a polyethylene yarn has a decisive influence on the breaking load of the yarn value after knitting. The takedown traction has the greatest effect on the loss of strength of the yarn after its processing into the knitting structure. It is established that the minimum of loss of yarn strength can be achieved with the maximum level of knockover depth  $h = 3.5$  mm, the maximum linear density of polyethylene yarn  $T = 132$  tex and the minimum level of takedown traction  $Q = 1659.9$  sH.

The obtained regression dependences characterizing the influence of technological parameters on the loss of strength of high molecular weight polyethylene yarn can be used to establish the optimal parameters for knitting of high-strength knitted fabrics for personal protective equipment or other technical products with high strength and resistance to various mechanical damage.

Keywords: weft knitwear, plain knitted fabric, knockover depth, breaking load, high strength materials, polyethylene yarn, loss of yarn strength.

### Вступ

На сьогоднішній день трикотажне виробництво розвивається не тільки у сфері виготовлення повсякденного та спортивного одягу, а й у напрямку розробки різноманітних засобів захисту як готових виробів, так і елементів спецодягу, охоплюючи значну частину ринку текстилю. Відтепер трикотаж здатен забезпечити задоволення все більше вимог споживача, не лише з точки зору естетичних та експлуатаційних характеристик, а й захисних. Це стало можливим завдяки новітнім розробкам у сфері одержання ниток із специфічними властивостями та створення текстильних матеріалів нових структур на їх основі. Традиційно для виготовлення захисних виробів з вогнестійкими, антистатичними, бактерицидними, теплорегуляційними та балістичними властивостями використовують тканини, до складу яких входять нитки та пряжа зі спеціальними властивостями таких відомих фірм, як Du Pont, Teijin Aramid, DSM, Honeywell, Schoeller GmbH & CoKG та інші [1 - 3]. При цьому мало відомим та менш розповсюдженим є досвід застосування даних видів сировини у сфері трикотажного виробництва.

Нитки та пряжа нового покоління активно використовуються при розробці одягу для військових, охоронців, працівників пожежної та нафтової промисловості, лісового господарства, працівників інших промислових виробництв, гонщиків, пілотів, мисливців та рибалок, а також в інших групах одягу, призначених для активних видів діяльності, відпочинку та спорту. Особливо затребуваними є матеріали для захисту від небезпечних механічних впливів, в структуру яких зазвичай входять нитки підвищеної міцності – параарамідні і високомолекулярні поліетиленові різних фірм-виробників. Оскільки питання переробки високоміцних ниток у трикотаж не досить вивчене, а його міцність під час експлуатації виробів є одним з найважливіших показників якості, то є необхідність у визначенні міцнісних характеристик ниток після їх



переробки у текстильний матеріал та виявлення факторів, які впливають на їх втрату. У роботі розглянуте питання переробки в трикотаж високомолекулярних поліетиленових ниток різної лінійної густини та втрати їх міцності після в'язання.

### Постановка задачі

Питанням втрати міцності ниток у ході виконання певних технологічних операцій займаються вчені всього світу. Так, наприклад, Т.С. Боровик та Т.І. Шейнова у своїй роботі [4] дослідили втрату міцності ниток у процесі снування. Авторами встановлено причини зниження міцності ниток основи у процесі формування ткацького навою. У ході спостережень за процесом виявлено, що однією з причин втрати міцності ниток є їх проходження через численну ниткопровідну гарнітуру. Для порівняння втрати міцності обрано 2 снувальні машини з різною кількістю ниткопровідних елементів та встановлено, що на машині з меншою кількістю ниткопровідних елементів втрата міцності менша. Таким чином, зменшення кількості ниткопровідних елементів впливає на зниження втрати міцності при снуванні, так як нитка на своєму шляху до котушки менше контактує з нитконаправляючими поверхнями.

Групою вчених [5] досліджено втрату міцності трикотажних виробів різного сировинного складу внаслідок дії кислот. У результаті експерименту встановлено, що обробка трикотажного одягу кислотним пранням призводить до зниження міцності на розрив (розривальне навантаження). Максимальну втрату міцності отримав зразок трикотажу з бавовняної пряжі.

У роботах [6-8] авторами досліджено втрату міцності високоміцних параарамідних ниток під дією світлопогоди. Встановлено, що незважаючи на високі вихідні механічні властивості параарамідних ниток, дія світлопогоди значно впливає на міцнісні властивості ниток, що приводить до руйнування їх структури, і як наслідок – до зниження якості виробів з них.

Авторами [9-11] вивчено питання втрати міцнісних та інших фізико-механічних властивостей високоміцних поліетиленових ниток. Встановлено, що незважаючи на високі міцнісні показники, поліетиленові нитки можуть втрачати свої первинні властивості починаючи від способу заправки розривальної машини до характеру дії хімічних речовин.

У результаті проведеного аналізу виявлено, що на втрату міцності ниток, у тому числі і поліетиленових, впливає ряд факторів, однак питання втрати їх вихідних властивостей у процесі в'язання не досить вивчене. При переробці ниток у трикотажне полотно нитка піддається згинанню, скручуванню та тертю, що в свою чергу впливає на вихідні властивості ниток. Крім того, нитка у трикотажі приймає форму петлі та знаходиться у стисненому стані. Першочерговим завданням на шляху розробки трикотажу підвищеної міцності є дослідження поведінки високоміцних ниток у процесі в'язання та збереження своїх міцнісних характеристик після в'язання. Однак, на сьогодні відсутня вичерпна інформація щодо особливостей переробки поліетиленових ниток на в'язальному обладнанні, тому наразі дана тема є актуальною і потребує глибоких досліджень.

#### Експериментальна частина

Для вивчення характеру впливу параметрів в'язання на втрату міцності високомолекулярних поліетиленових ниток обрано кулірне переплетення гладь, вироблене на плосков'язальному обладнанні типу ПВРК 8 класу з нитки лінійної густини 44,4 текс. На властивості трикотажу у процесі його виготовлення впливає ряд факторів, таких як лінійна густина, глибина кулірування, сила натягу нитки та зусилля відтягування полотна. З метою визначення найвпливовішого фактору на показник втрати міцності нитки в процесі її переробки в структуру трикотажу заплановано та реалізовано повний трифакторний експеримент. У якості керованих факторів обрано лінійну густину нитки –  $x_1$  [текс], глибину кулірування –  $x_2$  [мм] та зусилля відтягування полотна –  $x_3$  [сН] при сталому натязі нитки (табл. 1).

Таблиця 1

#### Умови проведення повного трифакторного експерименту

Умови проведення експерименту	Натуральні значення i-го фактору			Кодовані значення i-го фактору		
	T, текс	h, мм	Q, сН	$x_1$	$x_2$	$x_3$
основний рівень фактору $x_{0i}$	66	3	2251,4	0	0	0
інтервал варіювання факторів $I_i$	22	0,5	591,50	1	1	1
верхній рівень фактору $x_{Bi}$	44×3	3,5	2842,9	+1	+1	+1
нижній рівень фактору $x_{ni}$	44	2,5	1659,9	-1	-1	-1

Для визначення величини глибини кулірування використана залежність, що описує взаємозв'язок між довжиною нитки в петлі та розмірами робочих органів машини й товщиною нитки [12]. Довжину нитки в петлі змінено шляхом зміни положення кулірного клина. На підставі зазначеної залежності, виходячи зі встановлених значень мінімальної та максимальної довжини нитки в петлі, розраховано мінімальне та максимальне значення глибини кулірування: 2,5 мм та 3,5 мм відповідно. У ході реалізації попереднього експерименту встановлено мінімальний та максимальний рівні зусилля відтягування полотна: 1659,9 сН та 2842,9 сН відповідно.

Проведено дослідження щодо визначення факторів, які мають вплив на показник використання міцності поліетиленових ниток після в'язання  $Y_p$ . Даний показник визначено за наступною залежністю [12]:

$$Y_p = \frac{P_1}{P_2} \cdot 100, \% \quad (1)$$

де  $P_1$  – розривальне навантаження на нитку до в'язання, кгс.

$P_2$  – розривальне навантаження на нитку після в'язання, кгс.

Величину втрати міцності нитки у процесі її переробки в структуру трикотажу визначено за наступною залежністю:

$$B_{\text{міц}} = 100 - Y_p, \% \quad (2)$$

Розривальне навантаження на нитку до та після в'язання встановлено на розривній машині КТ-7010AZ у відповідності до ДСТУ ISO 2062:2004 [13]. Величина розривального навантаження на нитку до в'язання становить: для нитки лінійної густини 44 текс  $P_1 = 9,31$  кгс; для 44 текс  $\times 3$   $P_1 = 23,00$  кгс.

Шляхом розпуску дослідних зразків трикотажу, вироблених у відповідності до матриці планування повного трифакторного експерименту, підготовлено дослідні відрізки ниток для визначення розривального навантаження на нитку після в'язання. На відміну від інших видів високоміцних ниток, розривальне навантаження високомолекулярної нитки не може бути визначене з використанням стандартних затискачів розривної машини. Групою науковців [14] встановлено, що використання равликових затискачів та затискачів типу лещата з губками, що мають високоадгезивні покриття, не придатне для проведення випробувань поліетиленових ниток. Для визначення розривального навантаження на машині КТ-7010AZ нитка намотувалась на одну частину контактної стрічки типу «липучка» та з'єднувалась із другою частиною стрічки, що надало необхідну адгезію. Після цього нитка, затиснена у стрічку, встановлювалась у затискачі розривної машини типу лещата. Отримані середні значення розривального навантаження на нитку після в'язання  $\bar{Y}_P$  та показник втрати міцності  $\bar{Y}_{B_{\text{міц}}}$  наведено у таблиці 2.

Значущість коефіцієнтів регресії перевірено за допомогою критерія Стьюдента  $t_R$  [12]. Одержані регресійні залежності у кодованому вигляді мають наступний вигляд:

для розривального навантаження

$$Y_p = 13,35 + 5,93x_1 + 0,45x_2 - 0,58x_3 + 0,23x_1x_2 \quad (3)$$

для показника втрати міцності

$$Y_{B_{\text{міц}}} = 18,23 - 2,06x_1 - 2,69x_2 + 4,15x_3 \quad (4)$$

Таблиця 2

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників

Номер досліджу	Фактори				Середнє значення показника	
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\bar{Y}_P, \text{кгс}$	$\bar{Y}_{B_{\text{міц}}}, \%$
1	+	-	-	-	7,766	16,58
2	+	+	-	-	19,534	15,07
3	+	-	+	-	8,092	13,08
4	+	+	+	-	20,34	11,57
5	+	-	-	+	6,622	28,87
6	+	+	-	+	17,67	23,17
7	+	-	+	+	7,204	22,62
8	+	+	+	+	19,58	14,87

Коефіцієнти регресії в одержаних математичних залежностях у кодованому вигляді дозволяють з'ясувати ступінь впливу кожного з факторів на досліджувані вихідні параметри. Зокрема, на величину розривального навантаження на нитку після її переробки в структуру трикотажу переплетення гладь найбільший вплив має лінійна густина високомолекулярної поліетиленової нитки. Глибина кулірування та зусилля відтягування полотна мають рівноцінний вплив, але у протилежних напрямках. За умови незмінної лінійної густини нитки зі збільшенням глибини кулірування величина розривального навантаження зростає, а при збільшенні зусилля відтягування полотна величина розривального навантаження зменшується. Одержана регресійна залежність (4) вказує на те, що на величину втрати міцності ниток після в'язання найбільший вплив має зусилля відтягування полотна. За умови незмінного зусилля відтягування полотна вплив лінійної густини та глибини кулірування майже рівнозначний. Характер впливу технологічних параметрів в'язання на розривальне навантаження ниток після в'язання відрізняється від високоміцних параарамідних [15], що обумовлено природою вихідного полімеру високомолекулярних поліетиленових ниток.

У натуральному вигляді одержані регресійні залежності приймають наступний вигляд:

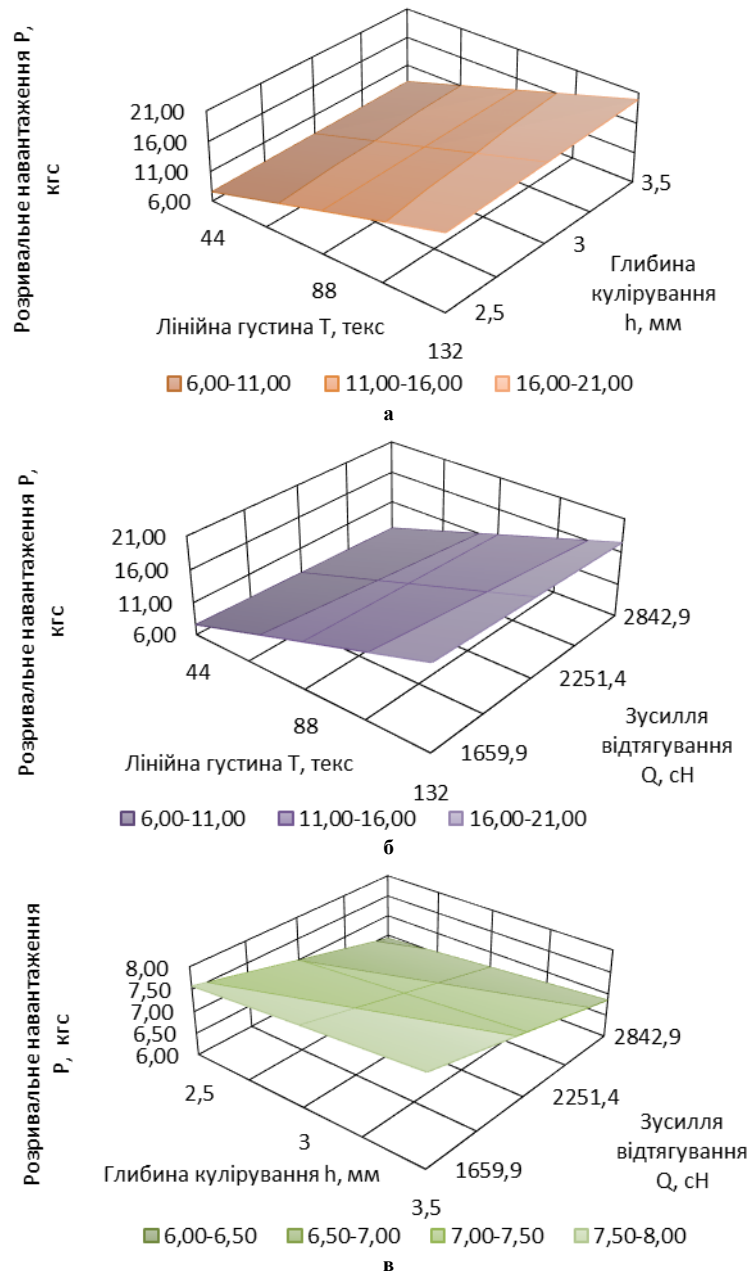
для розривального навантаження

$$P = 3,7 + 0,1 \cdot T + 0,002 \cdot 10^{-3} \cdot h - 9,8 \cdot 10^{-4} \cdot Q + 0,01 \cdot T \cdot h \quad (5)$$

для показника втрати міцності

$$B_{\text{міц}} = 24,77 - 5,39 \cdot h + 0,7 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 0,07 \cdot T \quad (6)$$

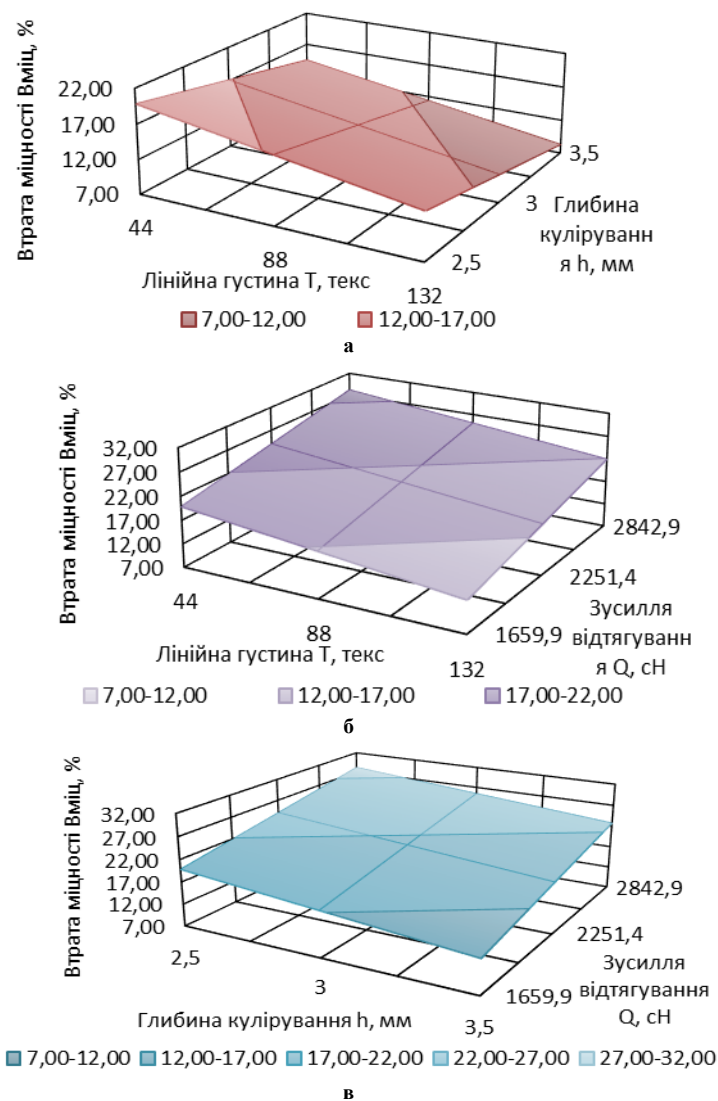
На підставі отриманої залежності (5) побудовано поверхні (рис. 1), які дозволяють прослідкувати вплив технологічних параметрів в'язання, а саме лінійної густини нитки, глибини кулірування та зусилля відтягування полотна, на величину розривального навантаження на поліетиленову нитку після її переробки в структуру кулірного трикотажу переплетення гладь.



**Рис. 1.** Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності для  $Y_G$ :  
 а – при мінімальному рівні зусилля відтягування  $Q=1659,9\text{сН}$ ; б – при мінімальному рівні глибини кулірування  $h=2,5$ ;  
 в – при мінімальному рівні лінійної густини  $T=44$  текс

Як видно з рис. 1 максимальне значення розривального зусилля досягається при максимальному рівні лінійної густини нитки. Зусилля відтягування полотна за умови незмінної лінійної густини нитки значного впливу на величину розривальне навантаження не має. Побудовані поверхні, представлені на рис.2а та рис.2б, наглядно ілюструють однаковий характер впливу на величину розривального навантаження зміни лінійної густини у діапазоні  $44 \div 132$  текс при  $h = 2,5$  мм та глибини кулірування у діапазоні  $2,5 \div 3,5$  мм при  $T = 44$  текс.

Аналогічним чином на підставі одержаної залежності (6) для показника втрати міцності побудовано поверхні (рис.2), які дозволяють визначити параметри в'язання, що забезпечать мінімальний рівень втрати міцності поліетиленової нитки внаслідок її переробки на плосков'язальній машині в структуру трикотажу переплетення гладь.



**Рис. 2. Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності для Вміц, %:**  
**а – при мінімальному рівні зусилля відтягування Q=1659,9сН; б – при мінімальному рівні глибини кулірування h=2,5;**  
**в – при мінімальному рівні лінійної густини T=44 текс**

Побудовані поверхні ілюструють, що втрата міцності поліетиленової нитки після її переробки в структуру кулірного трикотажу переплетення гладь досягає найбільшого значення за умови мінімальної величини лінійної густини нитки, мінімального рівня глибини кулірування та максимального зусилля відтягування полотна. При цьому збільшення зусилля відтягування у встановленому діапазоні при мінімальній величині лінійної густини нитки призводить до збільшення рівня втрати міцності.

Слід також звернути увагу, що при максимальному рівні зусилля відтягування збільшення лінійної густини нитки призводить до зменшення втрати міцності нитки у процесі в'язання. Представлені на рис.2а та рис.2б поверхні дозволяють зробити висновок про однаковий характер впливу на величину втрати міцності високомолекулярної поліетиленової нитки після в'язання зміни її лінійної густини у діапазоні 44÷132 текс при h = 2,5 мм та глибини кулірування у діапазоні 2,5÷3,5 мм за умови мінімального рівня лінійної густини нитки T=44 текс.

### Висновки

У результаті реалізації повного трифакторного експерименту одержано регресійні математичні моделі, що адекватно описують вплив параметрів в'язання на величину розривального навантаження на високомолекулярну поліетиленову нитку та втрату її міцності після переробки на в'язальному обладнанні в структуру кулірного трикотажу переплетення гладь. Встановлено, що найбільш впливовим фактором на величину втрати міцності поліетиленової нитки є зусилля відтягування полотна. При цьому лінійна густина нитки та глибина кулірування мають рівнозначний вплив. Мінімуму рівня втрати міцності нитки  $V_{міц}=8,28\%$  можна досягнути за умови максимального рівня глибини кулірування  $h=3,5$ мм, максимальної лінійної густини поліетиленової нитки  $T=132$  текс та мінімального рівня зусилля відтягування полотна  $Q=1659,9$  сН.

**Подяка.** Робота виконувалась у рамках спільного українсько-литовського науково-дослідного проекту «Трикотажні матеріали для засобів індивідуального захисту від механічних пошкоджень та дії полум'я (акронім - PERPROKNIT)» за підтримки Міністерства освіти і науки України.

## Література

1. Tasneem Sabir, 2 - Fibers used for high-performance apparel, Editor(s): John McLoughlin, Tasneem Sabir, In Woodhead Publishing Series in Textiles, High-Performance Apparel, Woodhead Publishing. – 2018, – P. 7-32, ISBN 9780081009048, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100904-8.00002-X>.
2. B. Fei, 2 - High-performance fibers for textiles, Editor(s): Menghe Miao, John H. Xin, In The Textile Institute Book Series, Engineering of High-Performance Textiles, Woodhead Publishing. – 2018, – P. 27-58, ISBN 9780081012734, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101273-4.00002-0>.
3. Ильина И.И. Теперь трикотаж – не только комфорт, но и защита [Электронный ресурс] / И.И. Ильина // Технический текстиль – 2003. № 5. – Режим доступа до журн.: <http://rustm.net/catalog/article/716.html>.
4. Боровик Т.С. Исследование потери прочности основных нитей из-за процесса снования / Т.С. Боровик, Т.И. Шейнова // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности: тезисы докладов Межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов (Иваново, 23-25 апреля 2013 г.). – Иваново: ИВГПУ, 2013. – С. 64-65.
5. Khalil El. Study on Properties Analysis of Knitwear After Acid Wash. AASCIT Communications, 2016, Volume 3, Issue 2, pp.102-106.
6. Костомарова С.А. Исследование изменения механических свойств параарамидных нитей под воздействием светопогоды / С.А. Костомарова, Ю.С. Шустов, А.В. Курденкова // Дизайн и Технологии. – 2016. – №56(98). – С. 61-65.
7. Никитина О.В. Прогнозирование разрывной нагрузки параарамидных нитей Русар в зависимости от длительности воздействия естественной светопогоды / О.В. Никитина, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов // Дизайн и Технологии. – 2012. – №28. – С. 27-30.
8. Никитина О.В. Исследование влияния светопогоды на механические свойства параарамидных нитей / О. В. Никитина, Ю.С. Шустов, А.В. Курденкова, А.В. Антонова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – №2. – С. 26-28.
9. Сергеева Е. А. Влияние плазменной обработки на физико-механические свойства волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена / Е.А. Сергеева, Ю.А. Букина, А.Р. Ибатуллина // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 17, Т. 15. – С. 116–119.
10. Сергеева Е.А. Влияние высокочастотного разряда пониженного давления на свойства ВВПЭ волокон / Е.А. Сергеева, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. Казань: изд-во КГТУ. – 2009. – №2. – С.84-89.
11. Молтусов А.С. Исследование физико - механических свойств полимерной нити из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) / А.С. Молтусов, Н.А. Орлова // Развитие науки и техники: механизм выбора и реализации приоритетов: сборник статей Международной научно - практической конференции (15 июня 2017 г., Екатеринбург). – Екатеринбург: НИЦ АЭТЕРНА, 2017: Технические науки. – С. 123-126.
12. Ключко О.І. Дослідження у трикотажній промисловості: навчальний посібник для студентів вищих навч. закл. / О.І. Ключко – К.: КНУТД, 2006. – 190 с.
13. Текстиль. Пряжа з паковань. Визначення розривального навантаження та видовження під час розриву: ДСТУ ISO 2062:2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – Київ: Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості, 2006. – 12с. – (Національний стандарт України).
14. Степашкин А.А. Опыт исследования механических свойств высокопрочного волокна на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / А.А. Степашкин, А.В. Максимкин, Д.И. Чуков, В.В. Чердынцев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №6. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10755>.
15. Безсмертна В.І. Дослідження втрати міцності параарамідних ниток у процесі в'язання кулірного трикотажу / В.І. Безсмертна, Л.Є. Галавська, С.Ю. Боброва // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2019. – № 2 (132). – С. 51-59.

## References

1. Tasneem Sabir, 2 - Fibers used for high-performance apparel, Editor(s): John McLoughlin, Tasneem Sabir, In Woodhead Publishing Series in Textiles, High-Performance Apparel, Woodhead Publishing. – 2018, – P. 7-32, ISBN 9780081009048, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100904-8.00002-X>.
2. B. Fei, 2 - High-performance fibers for textiles, Editor(s): Menghe Miao, John H. Xin, In The Textile Institute Book Series, Engineering of High-Performance Textiles, Woodhead Publishing. – 2018, – P. 27-58, ISBN 9780081012734, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101273-4.00002-0>.
3. Iilina I.I. Teper trikotazh – ne tolko komfort, no i zaschita [Elektronniy resurs] / I. I. Iilina // Tehnicheskiy tekstil. - 2003, №5. – Rezhim dostupu : <http://rustm.net/catalog/article/716.html>.
4. Borovik T.S. Issledovanie poteri prochnosti osnovnykh nitey iz-za protsesssa snovaniya / T.S. Borovik, T.I. Sheynova – Molodye uchenyie – razvitiyu tekstilnoy i legkoy promyishlennosti : tezisyi dokladov Mezhhvuzovskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii aspirantov i studentov (Ivanovo, 23-25 aprelya 2013 g.,). – Ivanovo: IVGPU. – 2013. – S. 64-65.
5. Khalil EL. Study on Properties Analysis of Knitwear After Acid Wash // AASCIT Communications. – 2016. Volume 3, Issue 2, – P.102-106.

6. Kostomarova S. A. Issledovanie izmeneniya mekhanicheskikh svoystv paraaramidnykh nitey pod vozdeystviem svetopogody / S.A. Kostomarova, Yu.S. Shustov, A.V. Kurdenkova // Dizayn i Tehnologii. – 2016. – №56(98). – S. 61-65.
7. Nikitina O. V. Prognozirovaniye razryivnoy nagruzki paraaramidnykh nitey Rusar v zavisimosti ot dlitelnosti vozdeystviya estestvennoy svetopogody / O. V. Nikitina, A. V. Kurdenkova, Yu.S. Shustov // Dizayn i Tehnologii. – 2012. – №28. – S. 27-30.
8. Nikitina O. V. Issledovanie vliyaniya svetopogody na mekhanicheskie svoystva paraaramidnykh nitey / O. V. Nikitina, Yu. S. Shustov, A. V. Kurdenkova, A. V. Antonova // Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti. – 2014. – №2. – S. 26-28.
9. Sergeeva E. A. Vliyanie plazmennoy obrabotki na fiziko-mekhanicheskie svoystva volokon iz sverhvisokomolekulyarnogo polietilena / E. A. Sergeeva, Yu. A. Bukina, A. R. Ibatullina // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2012. – № 17, T. 15. – S. 116–119.
10. Sergeeva E.A. Vliyanie vyisokochastotnogo razryada ponizhennogo davleniya na svoystva VVPE volokon / E.A. Sergeeva, I.Sh. Abdullin // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. Kazan: izd-vo KGTU. – 2009. – №2. – S.84-89.
11. Moltusov A.S. Issledovanie fiziko - mekhanicheskikh svoystv polimernoy niti iz sverhvisokomolekulyarnogo polietilena (SVMPE) / A.S. Moltusov, N.A. Orlova // Razvitie nauki i tehniki: mekhanizm vyibora i realizatsii prioritetov: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno - prakticheskoy konferentsii (Ekaterinburg, 15 iyunya 2017 g.). – Ekaterinburg: NITs AETERN. – 2017: Tehnicheskie nauki. – S. 123-126.
12. Klochko O.I. Doslidzhennia u trykotazhniy promyslovosti : navchalny posibnyk dlia studentiv vyshcheykh navch. zakl. / O.I. Klochko – K.: KNUTD, 2006. - 190 s.
13. Tekstyl. Priazha z pakovan. Vyznachennia rozryvalnoho navantazhennia ta vydovzhennia pid chas rozryvu: DSTU ISO 2062:2004. – [Chynnyj vid 2006-01-01].– Kyiv: Ukrainskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti, 2006. – 12 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
14. Stepashkin A.A. Opyit issledovaniya mekhanicheskikh svoystv vyisokoprochnogo volokna na osnove sverhvisokomolekulyarnogo polietilena / A.A. Stepashkin, A.V. Maksimkin, D.I. Chukov, V.V. Cherdyntsev // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. – 2013, – №6. – Rezhim dostupu: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10755>.
15. Bezmertna V. I. Doslidzhennia vtraty mitsnosti paraaramidnykh nytok u protsesi viazannia kulirnogo trykotazhu / V.I. Bezmertna, L.Ye. Halavska, S.Yu. Bobrova // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design». – 2019. № 2 (132). – S. 51-59

Рецензія/Peer review : 16.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

А.Я. ГАНЗЮК

Хмельницький національний університет

Л.М. МАСЛО

Хмельницький торговельно-економічний фаховий коледж Київського національного торговельно-економічного університету

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНТЕНСИФІКАТОРА НА СОРБЦІЮ ДИСПЕРСНИХ БАРВНИКІВ

Вивчено та описано термодинаміку процесу фарбування поліефірних текстильних матеріалів дисперсними барвниками в присутності аніліду саліцилової кислоти, проведено аналіз кінетичних кривих сорбції, досліджено вплив інтенсифікаторів на дифузію дисперсних барвників в поліетилентерефталатний субстрат. Встановлено, що коефіцієнти дифузії збільшуються практично на порядок для усіх марок дисперсних барвників, зростає спорідненість барвників до поліефірного волокна і збільшується вибирання дисперсних барвників до 85 %.

Ключові слова: барвники, сорбція, поліефірний текстильний матеріал, текстильно- допоміжна речовина, поверхнево-активна речовина.

A.Y. HANZIUK

Khmelnytsky National University

L.M.MASLO

Khmelnytsky Trade and Economic Vocational College Kyiv National University of Trade and Economics

### THE INVESTIGATION OF THE EFFECT INTENSIFIER ON THE SORPTION OF DISPERSED DYES

For the successful development of the textile and light industry it is necessary to expand and qualitatively improve the raw material base due to the widespread use of chemical fibers. At the same time, special attention is paid to increasing the production of polyester fibers. The growing role of these fibers in the raw material balance of wool, silk, knitwear industries is primarily due to their valuable properties: high dimensional stability, compatibility with all types of natural and hydrated cellulose fibers, good strength, light and heat resistance. However, their coloring causes significant difficulties due to the peculiarities of their structure: high order of polyethylene terephthalate fibers, packing density of their macromolecules, hydrophobic nature of the fiber, lack of groups capable of interacting with ionic dyes, heterogeneity of textile yarn properties.

The work contains results of a complex investigation how properties and structure of polyester textiles colored with dispersed dyestuffs are changed at the presence of an intensifier – salicylic acid anilide. The obtained results are used to determine the mechanism of the intensifier's action during coloration. New technological modes were proposed for intensification of coloration process. These mode enable to eliminate the primary stage of textile processing – removal of grease and dirt by means of introduction of a stable composition of salicylic acid anilide and a mixture of surface active substances to a dye bath. The investigation of the effect intensifier on the sorption of dispersed dyes.

Key words: polyester textiles, coloration, structure, intensifiers, surface active substances, crystallinity grade.

Для успішного розвитку текстильної і легкої промисловості необхідне розширене і якісне удосконалення сировинної бази за рахунок широкого використання хімічних волокон. При цьому, особлива увага приділяється збільшенню виробництва поліефірних волокон. Зростання ролі саме цих волокон в сировинному балансі вовняної, шовкової, трикотажної промисловостей обумовлені в першу чергу їх цінними властивостями: високою формостійкістю, сумісністю з всіма видами натуральних і гідратцелюлозних волокон, хорошою міцністю, світло- і термостійкістю. Однак, при їх кольорируванні виникають значні труднощі, пов'язані саме з особливостями їх структури: високою впорядкованістю поліетилентерефталатних волокон, щільністю упаковки їх макромолекул, гідрофобним характером волокна, відсутністю груп, здатних взаємодіяти з барвниками іонного типу, неоднорідністю властивостей текстильної нитки [1]. Потрібно сказати, що і до теперішнього часу оптимальної технології кольорирування поліефірних волокон не розроблено, однак можна вказати два напрямки в яких проводяться ці дослідження:

- отримання волокон з порушеною регулярністю будови макромолекулярного ланцюга поліефіру, що забезпечує пониження кристалічності і щільності упаковки полімеру;
- введення в макромолекулу поліефіра груп аніонного і катіонного типу.

Однак, модифіковані волокна поки ще не знаходять широкого використання в текстильній промисловості. А тому, основним напрямком в розв'язанні цієї проблеми є введення в фарбувальну ванну інтенсифікаторів – речовин, які дають можливість фарбувати поліефірні волокна при температурах не вище 100 °С. Це дає змогу не погіршувати фізико-хімічні властивості поліефірного волокна.

**Актуальність теми.** Колорирування поліефірних волокон дисперсними барвниками при температурах не вище 100 °С в присутності інтенсифікаторів дає можливість уникнути використання дорогого обладнання, збільшити вибирання барвника, скоротити технологічний режим кольорирування в кілька разів завдяки впровадженню швидкісних технологій. Для досягнення поставленої мети були намічені наступні задачі:

- дослідити вплив інтенсифікатора на дифузію дисперсних барвників в поліетилентерефталатний субстрат;
- провести комплексну оцінку змін властивостей, складу та структури поліефірних волокон на молекулярному, надмолекулярному та мікрорівнях;

- вивчити та описати термодинаміку процесу;

**Об'єкт дослідження** – композиції для колорирування поліефірних текстильних матеріалів дисперсними барвниками.

**Предмет дослідження** – процеси колорирування поліефірних текстильних матеріалів дисперсними барвниками.

Зростання ролі поліефірних волокон в сировинному балансі трикотажної промисловості обумовлене в першу чергу їх цінними властивостями: високою формостійкістю, сумісністю з іншими видами волокон, хорошою міцністю, світло- і термостійкістю. Поліетилентерефталат (ПЕТФ) – це полімер, що здатний існувати як в аморфному, так і в високо кристалічному станах. Середня молекулярна маса – 15000 – 20000, середня ступінь полімеризації – 160-180 [1-3].

Волокно характеризується більш компактною структурою, значною орієнтацією молекул вздовж осі, високим ступенем кристалічності і, відповідно, більш щільною упаковкою макромолекул. Воно має порівняно мале число активних центрів, характеризується чітко вираженими гідрофобними властивостями.

Сучасні методи аналізу показують існування кристалічних і аморфних зон в поліетилентерефталаті, однак ці результати недостатні для створення однозначної моделі його структури. Запропоновані такі моделі поліетилентерефталату: бахромчаті фібрили, складчаті ламелі, меандрова структура. За допомогою електронного мікроскопа було виявлено, що в поліефірному волокні основними елементами надмолекулярної структури є фібрили діаметром до 20 нм, які згруповані в більші фібрили діаметром до 100 нм. Вважається, що основні фібрили містять кристаліти, які по моделі Хеземана – Бонарта мають пластинчато - складчасту структуру, а по моделі Пехольда – меандрову. Поліефірне волокно характеризується як міцне, пружне, еластичне; допустима робоча температура експлуатації 120 – 130 °С.

Найважливіші фізичні властивості поліетилентерефталату представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізичні властивості поліетилентерефталату

Фізичний показник	Значення показника
Поглинання води при 20 °С та $\varphi=65\%$ , %	0,4
Густина при 25 °С, г/см <sup>3</sup>	1,38
Температура плавлення, °С	260
Температура липкості, °С	230-240
Відновна теплоємність при 20 °С, $\frac{kJ}{kg \cdot K}$	0,083
Коефіцієнт об'ємного розширення, $T < 60$ °С	$1,6 \cdot 10^{-4}$
В інтервалі температур 90...190 °С	$3,7 \cdot 10^{-4}$

Як і інші текстильні волокна поліефірне волокно характеризується низькою міцністю в поперечному напрямку внаслідок його анізотропної структури. Поліефірне волокно термопластичне, внаслідок чого його міцнісні характеристики знижуються, а розривне подовження зростає з підвищенням температури. По стійкості до витирання поліефірні волокна поступають тільки поліамідним. Однією з найважливіших властивостей поліефірного волокна є здатність зберігати форму після теплової обробки при високих температурах. Поліефірний текстильний матеріал є хорошим ізолятором, характеризується дуже великим напівперіодом стікання заряду. В таблиці 1.3 надані напівперіоди стікання заряду для різних типів поліефірних волокон при 21 °С і  $\varphi = 65\%$ . Поліефірні волокна – це продукт взаємодії терефталевої кислоти і гліколю, отримують шляхом прядіння їх з розплаву. Після поліамідних і поліакрилонітрильних поліефірні волокна є найбільш розповсюдженими синтетичними волокнами. Завдяки високій стійкості до дії світла вони придатні для виготовлення декоративних тканин, особливо гардин і порт'єр; суміш поліефірних волокон з бавовною знайшла широке використання при виробництві тканин для сорочок. Біля 1% вироблених в світі поліефірних волокон [4] випускається в пофарбованому виді, головним чином в чорний колір. З цією метою в процесі синтезу поліетилентерефталату вводять дрібнодисперсне вугілля в вигляді суспензії в етиленгліколі. Фарбування в масі в інші кольори може здійснюватись введенням термостійких пігментів або органічних розчинників. Фірма “Циммер” отримала патент на метод виготовлення концентрату барвника в полімері шляхом механічного розтирання їх суміші з одночасним розплавленням. За іншим методом в розплав поліефіру вводять суміш барвника з поліпропіленом, поліетиленом, поліетилгліколем або трифосфатом [5]. По методу фірми “Імперіел Кемікел Індастріз” в прядильну головку точно дозують гранули барвника зі зв'язуючим – диглікольтерефталатом. Цей метод дає можливість змінити асортимент без суттєвої витрати продукту, але потребує спеціального методу приготування гранульованих барвників. Мають місце методи, де описано шнек для розплавлення нефарбованого поліефіру з введенням в нього гранул, які відрізняються від зафарбованого моноволокна. По технології фірми “Інвента” (Швейцарія) пігменти додають в окремий потік поліефіру, який потім змішують з головним потоком поліефіру на устаткуванні безперервного процесу [6]. Відомий метод отримання зафарбованих волокон шляхом введення при синтезі поліетилентерефталата барвників, що містять групи, активні в процесі



етерифікації [7]. Серед прогресивних методів фарбування поліефірних текстильних матеріалів найбільш розповсюдженим є термозольний метод [8-9]. Фарбують дисперсними барвниками, в фарбувальний розчин вводять 2-20 г/л капролактаму, що дозволяє низити робочу температуру або значно скоротити тривалість процесу. Рядом авторів [10-16] розроблено рецептуру і режим фарбування поліефірного волокна кубозолями за періодичним способом для отримання середніх по інтенсивності забарвлень при температурі, що не перевищує 100 °С. Спосіб "Вапокол" [17-19] розроблений в Англії фірмою "Ай-Сі-Ай", який базується на спроможності деяких розчинників викликати набухання синтетичних волокон. Дає хороші результати при фарбуванні тканин, виготовлених з філоментарних поліефірних волокон. Спосіб фарбування із середовища органічних розчинників [20] поки що не знайшов широкого застосування у промисловості із-за складності регенерації розчинника та ліквідації скидів у стічні води. З літературних джерел відомо, що [21-23] фарбування лавсану в середовищі водного розчину аміаку з сумішшю амоній хлориду поряд з хорошими якостями забарвлення надає волокну підвищеної стійкості до розривного навантаження. Матецьким В.А і Садовим Ф.І. вивчено метод фарбування синтетичних волокон з використанням коацерватних систем, що базується на використанні емульсій в фарбувальній ванні, які утворюються за допомогою спеціально підібраних допоміжних препаратів, наприклад, моно- та диетаноламідів [1]. Рядом авторів виявлено, що використання електричного струму частотою 400 Гц і силою 1,5А дає можливість підвищити сорбцію дисперсних барвників поліефірним субстратом в 10 раз при температурі 100 °С. При цьому волокно прокрашується по всьому поперечному перерізу протягом 15 хв. [24-30]. Для інтенсифікації процесу фарбування лавсану дисперсними барвниками можна використовувати фурфурол концентрацією в межах 2-30 г/л. Його використання не приводить до зниження показників міцності тканини. Запропоновано механізм впливу сечовини як інтенсифікатора на процес фіксації дисперсних барвників термопластичними волокнистими матеріалами в умовах сполученої обробки СВЧ - випромінюванням та насиченою водяною парою [27-29]. Попередня обробка розчинами лугів поліефірного трикотажного полотна підвищує інтенсивність його забарвлення дисперсними барвниками – похідними антрахінону, що обумовлено в першу чергу збільшенням сорбції дисперсного барвника [30]. Авторами [31-34] запропонований спосіб одночасного намагнічування фарбувального розчину і текстильного матеріалу в процесі просочування для інтенсифікації термофіксаційного фарбування дисперсними барвниками. Стійке підвищення забарвленості тканин забезпечується в інтервалі напруги магнітних полів 120-240 кА/м. Авторами [25] досліджено використання електроактивованої води для інтенсифікації хіміко-технологічних процесів фарбування та опорядження текстильних матеріалів, що дає змогу не тільки прискорити процес, а й зменшити концентрацію хімічних реагентів, досягнувши при цьому бажаних ефектів. Спосіб фарбування з інтенсифікатором – найбільш ранній і простий, але в нього є ряд недоліків. Інтенсифікатори понижують стійкість забарвлення до фізико-хімічних впливів, особливо до світла і погоди. Для фарбування з інтенсифікатором, як правило, потрібна кропітка робота з метою його підбору. Однак, правильно підібраний інтенсифікатор дозволяє отримати високоякісні показники фарбування на поліефірних волокнах [36-40]. Традиційні методи фарбування не придатні для поліефірних волокон через особливостей його структури. Тому вирішення цієї проблеми здійснювалось в двох напрямках: перший – використання допоміжних хімічних речовин і другий – проведення процесу фарбування при температурах вище 100 °С. Треба відмітити, що у більшості робіт по дослідженню дії інтенсифікатора встановлено, що він зміщує рівноважний розподіл барвника між фарбувальним розчином і волокном в сторону волокна. Однак причини, які визивають це зміщення, не встановлені. Більшість дослідників притримуються думки, що дія інтенсифікатора швидше направлена на волокно, ніж на фарбувальну ванну. З іншої сторони, дія інтенсифікатора на структуру волокна трактується як зміна кристалічності полімера в сторону збільшення його аморфності. Механізм дії інтенсифікатора, сформульований в роботі [22], пропонує, що він, вступаючи в спеціальну взаємодію з волокном, викликає послаблення міжмолекулярних сил взаємодії в волокні, що веде до набухання, збільшення вільного об'єму волокна і появи мікро тріщин на його поверхні. Саме туди і проникають молекули води, виконуючи функцію своєрідного клину, який викликає ще більше набухання волокна, полегшуючи тим самим дифузію молекул барвника в середину волокнистого матеріалу. Однак, наводяться дані [13-15], що хлорпохідні бензолу володіють достатньо високим ефектом інтенсифікації, але при цьому набухання поліетилентерефталат не викликають, а похідні фенолу здатні викликати необмежене набухання поліефірних волокон майже до розчинення, і при цьому мають низький ефект інтенсифікації фарбування. В роботі А.П. Мориганова і Б.Н. Мельнікова встановлено, що найбільш ефективно фіксація з поліефірною тканиною протікає при температурі парів азеотропної суміші – 140 °С [22]. Треба відмітити, що в роботах [23, 30] вивчено вплив хлоридів, ацетатів і сульфатів деяких металів і амонію в водні розчини на нафарбованість поліефірного волокна азо- і антрахіноновими дисперсними барвниками в умовах періодичного фарбування. При цьому, направлена дія хлоридів на адсорбцію поліефіром дисперсних барвників визначаються їх молекулярною будовою. З літературних даних відомо, що попередня лужна обробка поліефірного трикотажного полотна підвищує інтенсивність забарвлення дисперсними барвниками – похідними антрахінон, що обумовлює, в першу чергу, зростання сорбції дисперсного барвника за рахунок лужної обробки. При цьому вона не впливає на стійкість кольору матеріалу до прання і тертя [30]. На основі ряду досліджень процесів періодичного фарбування поліефірних текстильних матеріалів в ІХНР РАН, розроблений комплексний препарат «Івлан-2», використання якого дає можливість уникнути використання в фарбувальній ванні для високотемпературного способу фарбування "Рапід колор" інтенсифікатор, а також

диспергаторів барвника і олігомерів. Результати досліджень доводять, що введення в фарбувальну ванну препарату «Івлан-2», забезпечує досягнення кінетики фарбування, значень коефіцієнтів дифузії, констант сорбції і десорбції та ефектів міграції, близьких до оптимальних і не гірше, ніж використання імпорتنих текстильно-допоміжних речовин.

У якості інтенсифікаторів фарбування поліефірних волокон дисперсними барвниками вибрані 12 органічних речовин різної хімічної будови. Вплив виду інтенсифікаторів на сорбцію дисперсних барвників поліефірним волокном в періодичному способі фарбування досліджували для барвника дисперсного червоного 2С пе. Концентрація інтенсифікаторів в фарбувальній ванні складала 5 г/л. Умови процесу фарбування: вміст барвника в ванні – 2,5%; температура – 98 °С; тривалість – 60 хв. Результати дослідження впливу виду інтенсифікаторів на сорбцію дисперсного червоного 2С пе поліефірним волокном в періодичному способі фарбування представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Вплив виду інтенсифікаторів на сорбцію дисперсного червоного 2С пе поліефірним волокном**

Інтенсифікатор	$D_{п}/C_{п}$	$D_{ост}/C_{ост}$	$C_{в}, г/кг$
П-оксидифеніламін	5,8	0,09	17,92
П-бензолтриазол	5,8	4,45	8,38
Диметилгліоксим	5,8	4,48	8,55
Ацетанілід	5,8	4,99	9,05
4,6-динітро, о-крезол	5,8	4,50	9,08
Аспарагінова кислота	5,8	4,50	9,13
Поліфеніленоксид	5,8	4,51	10,00
1-хлор, 2-нафтол	5,8	0,52	17,80
Грамін	5,8	4,51	9,50
Дифеніл	5,8	4,34	12,55
Анілід саліцилової к-ти	5,8	1,41	17,45
Бензилацетат	5,8	3,66	15,20

Найкраща сорбція дисперсного червоного 2С пе поліефірним волокном спостерігається для наступних інтенсифікаторів: п-оксидифеніламіну, 1-хлор, 2-нафтолу, аніліду саліцилової кислоти і бензилацетату. При використанні в якості інтенсифікатора п-оксидифеніламіну спостерігається зміна кольору пофарбованої тканини, а тому у подальших дослідженнях ця речовина не використовувалась.

Результати досліджень впливу умов процесу фарбування на сорбцію дисперсних барвників поліефірним волокном в присутності інтенсифікатора аніліду саліцилової кислоти представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Вплив умов процесу фарбування на сорбцію барвників поліефірним волокном в присутності інтенсифікатора аніліду саліцилової кислоти**

Барвник	Концентрація барвника у волокні, г/кг			
	Температура 98 °С		Температура 130 °С	
	без інтенсифікатора	з інтенсифікатором	без інтенсифікатора	з інтенсифікатором
Дисперсний жовтий 43 пе	12,76	13,30	16,90	18,79
Дисперсний червоний 2С пе	8,65	17,45	22,4	24,56
Дисперсний рубіновий пе	21,32	23,50	21,50	23,35
Дисперсний жовто-коричневий 2Ж пе	15,84	16,96	24,30	26,67
Дисперсний яскраво-червоний 2Ж пе	14,52	15,2	16,5	19,11
Дисперсний синій 3 пе	13,20	13,90	15,50	17,77

Таблиця 4

**Вплив виду інтенсифікатора на сорбцію дисперсних барвників**

Барвник	Концентрація барвника у волокні, г/кг			Середнє квадр. відхилення $\sigma$
	інтенсифікатор ХН	інтенсифікатор АСК	інтенсифікатор БА	
Дисперсний червоний 2С пе	17,20	17,45	14,36	0,34
Дисперсний жовто-коричневий 2Ж пе	13,20	13,20	12,15	0,28
Дисперсний жовтий 43 пе	16,82	16,96	16,20	0,31

Застосування аніліду саліцилової кислоти в якості інтенсифікатора процесу фарбування поліефірного волокна дисперсними барвниками є ефективним засобом інтенсифікації процесу. Як показали дослідження, працювати з шістьма марками барвників складно. Тому для подальших досліджень обрано дисперсні барвники з різною характерною хімічною будовою: а) дисперсний червоний 2С пе – клас антрахінонових; б) дисперсний жовто-коричневий 2Ж – клас азобарвників; в) дисперсний жовтий 43 – клас перінонових барвників. Проведено дослідження процесів сорбції для цих барвників в присутності ряду інтенсифікаторів. Концентрація інтенсифікаторів в ванні складала 5/л. Умови процесу фарбування: вміст барвника в ванні – 2,5%; температура – 98 °С; тривалість – 60 хв. Результати досліджень представлені в таблиці 4.

Вибирання дисперсних барвників визначали на поліефірній тканині при температурах 98 і 130 °С протягом постійного часу фарбування (60 хв.). Підготовку і фарбування тканини проводили згідно режимам, які наведені в методичній частині. Інтенсифікатором фарбування служив анілід саліцилової кислоти в концентрації 5 г/л. Фарбування при температурі 98 °С проводили на лабораторній установці. Фарбування при температурі 130 °С (високотемпературний спосіб фарбування) проводили на фарбувальній машині «ISAL AG 4006» DFSEI/SCHWEIS, яка працює під підвищеним тиском. Вибирання барвників визначали по концентрації барвника в залишкових ваннах, які були розбавлені диметилформамідом.

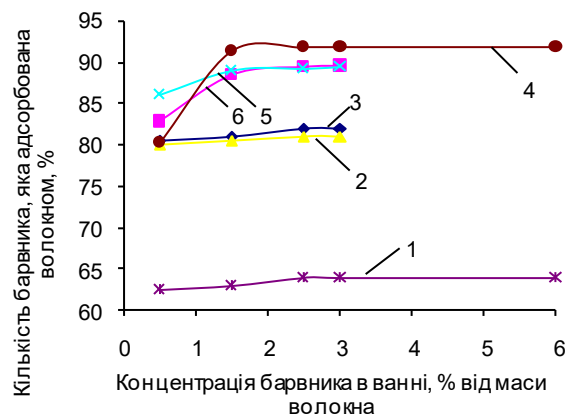


Рис. 1. – Криві вибирання дисперсних барвників при температурі 98 °С  
1, 2, 3 – для дисперсних: жовтого 43 пе, жовто-коричневого 2Ж пе і червоного 2С пе без інтенсифікатора відповідно; 4, 5, 6 – з інтенсифікатором анілідом саліцилової кислоти (5г/л)

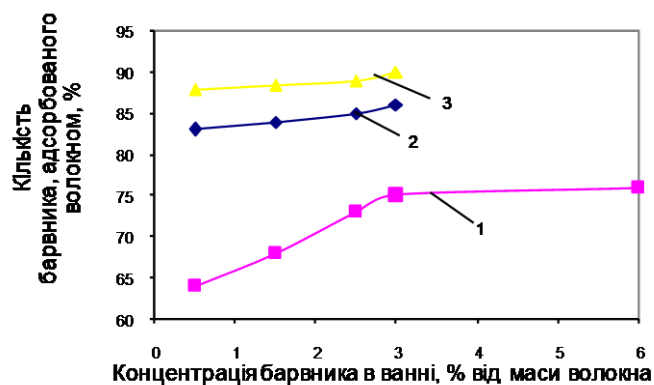


Рис. 2. – Криві вибирання дисперсних барвників при температурі 130 °С  
1, 2, 3 – для дисперсних: жовтого 43 пе, червоного 2С пе і жовто-коричневого 2Ж пе без інтенсифікатора відповідно

Таким чином, досліджено вплив інтенсифікаторів та температури на сорбцію дисперсних барвників поліефірним волокном. Встановлено доцільність використання в подальших дослідженнях інтенсифікаторів, що мають у своєму складі бензолні кільця: бензилацетат, 1-хлор, 2-нафтол, анілід саліцилової кислоти. На основі отриманих результатів дослідження впливу інтенсифікаторів на процес сорбції дисперсних барвників встановлено, що найбільш ефективним є анілід саліцилової кислоти.

Сорбційні властивості системи волокно-барвник найбільш точно можливо оцінити за допомогою термодинамічних характеристик. Фарбувальна ванна представляє собою термодинамічну систему, яка під дією підведення енергії у вигляді тепла може переходити від одного стану до іншого. Причиною сорбції барвників волокном є більш високе значення хімічного потенціалу барвника в розчині -  $\mu_p$  в порівнянні з його потенціалом в волокні -  $\mu_e$ . Сорбція протікає до того часу, коли не наступить рівність потенціалів  $\mu_p = \mu_e$ . При розрахунку спорідненості ми враховували ефективний об'єм поліефірного волокна - об'єм, який доступний для сорбції барвника. Результати розрахунків спорідненості дисперсних барвників до

поліефірного волокна в присутності інтенсифікатора – аніліду саліцилової кислоти (5г/л) представлені в табл. 3.4. Як видно з табл. 3.4, присутність інтенсифікатора в фарбувальній ванні збільшує спорідненість барвників до волокна і це дає можливість зсунути рівновагу в сторону переходу барвника в волокно.

Таблиця 5

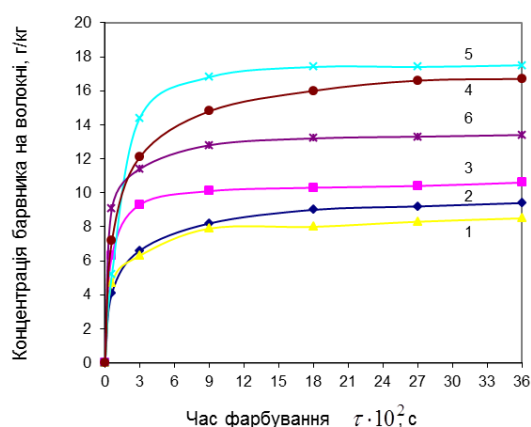
**Спорідненість дисперсних барвників до поліефірного волокна в присутності інтенсифікатора – аніліду саліцилової кислоти (5г/л)**

Барвник	Без інтенсифікатора		$-\Delta\mu^\circ$ , $\frac{\text{ммоль}}{\text{л}}$	З інтенсифікатором		$-\Delta\mu^\circ$ , $\frac{\text{ммоль}}{\text{л}}$
	$c_{p,\infty} \cdot 10^{-10}$ , $\frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$	$c_{v,\infty} \cdot 10^{-4}$ , $\frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$		$c_{p,\infty} \cdot 10^{-10}$ , $\frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$	$c_{v,\infty} \cdot 10^{-4}$ , $\frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$	
Дисперсний червоний 2С пе	1,176	0,345	48,500	1,825	0,192	56,600
Дисперсний жовтий 43 пе	0,620	0,533	44,730	0,930	0,412	49,520
Дисперсний жовто-коричн. 2Ж пе	1,123	0,127	42,400	1,322	0,116	46,300

Таким чином, вивчено та описано термодинаміку процесу, суть якої в наступному: присутність інтенсифікатора в фарбувальній ванні збільшує спорідненість барвників до волокна і це дає можливість зсунути рівновагу процесу в сторону переходу барвника у волокно.

Знання термодинаміки фарбувальної системи дає можливість оцінити механізм взаємодії барвника з волокном чи ТДР. Знання кінетики дає можливість визначити швидкість процесу, зробити розрахунки, які мають практичну цінність, наприклад, розрахувати продуктивність фарбувального апарату.

Нами проведені експериментальні дослідження і побудовані кінетичні криві для дисперсних барвників різної хімічної будови. У якості інтенсифікатора застосовували анілід саліцилової кислоти в концентрації 5 г/л. Умови фарбування: концентрація барвника – 2,5% від маси волокна, температура – 98 °С; час фарбування – 60 в. Кінетичні криві фарбування представлені на рисунку 3.



**Рис. 3. – Кінетичні криві сорбції дисперсних барвників поліефірним волокном**

1, 2, 3 – для барвників: дисперсного жовто-коричневого 2Ж пе, червоного 2С пе, жовтого 43 пе відповідно без інтенсифікатора; 4, 5, 6 – з інтенсифікатором анілідом саліцилової кислоти (5 г/л)

Аналіз кінетичних кривих сорбції показує, що інтенсифікатор анілід саліцилової кислоти різко збільшує рівноважне вибирання дисперсних барвників поліефірним волокном, особливо це помітно для дисперсного червоного 2С пе. Якщо розрахувати час половинного фарбування, то для дисперсного червоного 2С пе він зростає в присутності інтенсифікатора майже втричі. Збільшення часу половинного фарбування приводить до більш повного дофарбовування поліефірного волокна і це дає можливість уникнути такого явища, як кільцеве дофарбовування. Таким чином, кінетичні криві сорбції дисперсних барвників поліефірним волокном ще раз показують ефективність застосування в якості інтенсифікатора аніліду саліцилової кислоти.

### Висновки

Вивчено та описано термодинаміку процесу фарбування поліефірних текстильних матеріалів дисперсними барвниками в присутності аніліду саліцилової кислоти, проведено аналіз кінетичних кривих сорбції, досліджено вплив інтенсифікаторів на дифузію дисперсних барвників в поліетилентерефталатний субстрат. Встановлено, що коефіцієнти дифузії збільшуються практично на порядок для усіх марок дисперсних барвників, зростає спорідненість барвників до поліефірного волокна і збільшується вибирання дисперсних барвників до 85 %. Досліджено граничну пофарбованість поліефірного волокна в присутності

інтенсифікаторів і без них. Виявлено, що найбільший ступінь заповнення має барвник великої молекулярної маси, з великою кількістю замісників і довжиною ланцюга в хімічній будові, запропоновано математичні лінійні моделі залежностей граничної пофарбованості поліефірного волокна від температури. На основі комплексної оцінки змін властивостей, складу та структури поліефірних волокон на молекулярному, надмолекулярному та мікрорівнях, запропоновано ймовірний механізм дії інтенсифікатора, згідно якого молекули аніліду саліцилової кислоти розпушують надмолекулярну структуру поліефірного волокна за рахунок його набухання та сприяють збільшенню розчинності дисперсних барвників.

### Література

1. Забашта В. Н. Основы интенсификации крашения полиэфирных волокон / В. Н. Забашта. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 136 с.
2. Кричевский Г. Е. Химическая технология текстильных материалов: Учебник для вузов / Г.Е. Кричевский, М. В. Корчагин, А. В. Сенахов. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 640 с.
3. Кричевский Т. Е. Текстильная химия. Из XX в XXI век / Т. Е. Кричевский // Текстильная промышленность. – 2000. – №4. – с. 14-16.
4. Городничая Т. Ю. Исследование интенсифицирующего воздействия органических спиртов и четвертичных аммониевых соединений на процесс щелочного гидролиза полиэтилентерефталатных волокон / Т. Ю. Городничая, И. Ю. Царевская, Л. Г. Ковтун, Г. Е. Кричевский // РЖХ. – 1990. – №2. – с. 65.
5. Gunninghom Alan D. The controlled coloration approach for right first time dyeing of polyester / Gunninghom Alan D. // Text Chem. and Color. – 1997. – Vol. 29, №1. – p. 23 - 25.
6. Айзенштейн Э. М. Химические волокна. Перспективы производства и применения / Э. М. Айзенштейн // Текстильная химия. – 2000. – №2 (18). Специальный выпуск. – с. 22-28.
7. Мельников Б. Н. Теория и практика высокоскоростной фиксации красителей на текстильных материалах / Б. Н. Мельников, А. П. Морыганов, Ю. А. Калинин. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 207 с.
8. А.с. 1719501 СССР, МКИ Д 06 Р 5/04. Способ крашения текстильного материала / Падохин В.А., Морыганов А.П., Семенов В.М., Смирнова О.К., Константинов О.И. (СССР). - № 4792457/05; Заявлено 28.12.82; Оpubл. 15.03.92. Бюл. №10. – 12 с.
9. Давидзон М. И. Интенсификация массообменных процессов при крашении пряжи/ М. И. Давидзон // Текстильная промышленность. – 1987. – №12. – с. 15-18.
10. Шарнина Л. В. Применение дисперсных полиэфирных красителей для однотонного крашения смешанных тканей / Л. В. Шарнина, И. Б. Блиничева // РЖХ. – 1987. – №11. – с. 75.
11. Мельников Б. Н. Современное состояние и перспективы развития технологии крашения текстильных материалов / Б. Н. Мельников, М. Н. Кириллова, А. П. Морыганов. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 233 с.
12. Мельников Б. Н. Теория и практика высокоскоростной фиксации красителей на текстильных материалах / Б. Н. Мельников, А. П. Морыганов, Ю. А. Калинин. – М. : Легпромиздат, 1989. – 209 с.
13. Xerography: a novel technique for textile printing // Text. Technol. Dig. – 1996. – Vol. 53, №10. – P. 64.
14. Technicel revolutions in textile printing // Text. Technol. Dig. – 1996. –Vol. 53, №6. – Pt. 1. – P. 56.
15. Смирнова О.К. Диффузия дисперсных красителей в полиэтилентерефталатный материал в среде органических растворителей / О. К. Смирнова, Н. С. Дымникова // РЖХ. – 1986. – №12. – с. 54.
16. Забродин С. А. Влияние электрического тока на свойства получаемых окрасок при крашении лавсана / С. А. Забродин, В. Е. Мясоедов // Известия вузов. Технология текстил. пром-сти. – 1992. – №2 (206) – с. 57-60.
17. Забродин С. А. Влияние электрического тока на свойства получаемых окрасок при крашении лавсана / С. А. Забродин, В. Е. Мясоедов // РЖХ. – 1991. – №9. – с. 58.
18. Городничая Т.Ю. Интенсификация процессов окрашивания дисперсными красителями трикотажных полотен из полиэфирных волокон : Дис...канд. техн. наук: 05.19.03. – М., 1989. – 186 с.
19. А.с. 1636491, МКИ Д 06 М 15/643, 13/144. Способ для обработки текстильных материалов / П. А. Глубиш, Э. М. Рожко, Н. И. Степанчук, Ф. Б. Линецкая, Л. Р. Катанистая. – опубл. 23.03.91.
20. Кричевский Г. Е. Теория и практика подготовки текстильных материалов / Г. Е. Кричевский, А. Никитков. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 33 с.
21. Побединский В. С. Роль мочевины в ускорении процесса запарной микроволновой фиксации дисперсных красителей / В. С. Побединский, Г. А. Колохина, А. В. Гарелин // РЖХ. –1990. – №1. – с. 54.
22. Коновалова М. В. Влияние щелочной обработки полиэфирных текстильных материалов на их колористические характеристики при последующем крашении дисперсными красителями/ М. В. Коновалова, И. В. Гличева, Л. Т. Ковтун // РЖХ. – 1996. – №11. – с. 58-59.
23. Анохин В. В. Химия и физико-химия полимеров / В. В. Анохин. – К.: Вища школа, 1987. – 389 с.
24. Тарутина Л. И. Спектральный анализ полимеров / Л. И. Тарутина, Ф. О. Позднякова. – Л. : Химия, 1986. – 248 с.
25. Ганзюк А.Я. Интенсифікація процесу колорювання поліефірних текстильних матеріалів дисперсними барвниками: дис...канд. техн. наук: 05.19.03 / Ганзюк Алла Ярославівна. – Х. 2004. – 171 с.

26. Органические синтетические красители: Каталог. – М.: НИОПИК, 1984 – 67 с.
27. Сарибеков Г. С. Справочник по отделке текстильных материалов / Г. С. Сарибеков. – К.: Техника, 1984. – 350 с.
28. Лабораторный практикум по химической технологии текстильных материалов: Учебное пособие для вузов / Т. С. Новорядовская и др.; под ред. Г. Е. Кричевского. – М.: Легпромбытиздат, 1994. – 399 с.
29. Методы исследования в текстильной химии: Справочник / Под ред. Г. Е. Кричевского. – М.: Международная текстильная академия НПО “Текстильпрогресс” инженерной академии России, Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 1993. – 402 с.
30. Физико-химические методы анализа. Практическое руководство: Учебное пособие для вузов / В. Б. Алесковский, В. В. Бардин, Н. И. Булатов; под ред. Алесковского В.Б. – Л.: Химия, 1988. – 376 с.
31. Ахназарова С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1998. – 320 с.
32. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: Справочное пособие / Л. З. Румшицкий. – М.: Наука, 1981. – 192 с.
33. Планирование эксперимента в технике / В. И. Барабашук, Б. П. Креденцер, В. И. Мирошниченко; под ред. Б.П. Креденцера. – К.: Техника, 1984 – 200 с.
34. Венецкий И. Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе: справочник / И. Г. Венецкий, В. И. Венецкая. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1989. – 448 с.
35. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский. – М.: Радио и связь, 1987. – 116 с.
36. Ганзюк А. Я. Вплив інтенсифікаторів на дифузію дисперсних барвників в поліетилентерефталатний матеріал / А. Я. Ганзюк, Г. С. Сарибеков, О. І. Кулаков // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – 2003. – №1(7). – с. 34 – 36.
37. Аскадский А. А. Химическое строение и физические свойства полимеров / А. А. Аскадский, Ю. И. Матвеев. – М.: Химия, 1983. – 250 с.
38. Луцык Р. В. Тепломассообмен при обработке текстильных материалов / Р. В. Луцык, Э. С. Малкин, И. И. Абаржи. – Киев: Наук. думка, 1993. – 344 с.
39. Ганзюк А.Я. Вплив різних факторів на граничну нафарбованість поліефірного волокна / Ганзюк А.Я., Кулаков О.І. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – №1. – с.107–111.

#### Referense

1. Zabashta V. N. Osnovy yntensyfykatsyy krasheniya polyэфурных волокон / V. N. Zabashta. – L.: Yzd-vo Lenynhr. un-ta, 1981. – 136 s.
2. Krychevskiy H. E. Khymycheskaia tekhnolohiya tekstylnykh materyalov: Uchebnyk dlia vuzov / H.E. Krychevskiy, M. V. Korchahyn, A. V. Senakhov. – М.: Lehprombytyzdat, 1985. – 640 s.
3. Krychevskiy T. E. Tekstynaia khymia. Yz KhKh v KhKh vek / T. E. Krychevskiy // Tekstynaia promyshlennost. – 2000. – №4. – s. 14-16.
4. Horodnychaia T. Yu. Yssledovanye yntensyfytsyruishcheho vozdeystviya orhanycheskykh spyrtoy u chetvertchnykh ammonyevykh soedyneni na protsess shchelochno hydrolyza polyэфурных волокон / T. Yu. Horodnychaia, Y. Yu. Tsarevskaia, L. H. Kovtun, H. E. Krychevskiy // RZhKh. – 1990. – №2. – s. 65.
5. Gunninghom Alan D. The controlled coloration oppoach for right dirst time dyeing of polyester / Gunninghom Alan D. // Text Chem. and Color. – 1997. – Vol. 29, №1. – r. 23 - 25.
6. Aizenshtein Э. М. Khymycheskye volokna. Perspektivy proizvodstva y pryumeneniya / Э. М. Aizenshtein // Tekstynaia khymia. – 2000. - №2 (18). Spetsyalnyi vyypusk. – s. 22-28.
7. Melnykov B. N. Teoryia y praktyka vysokoskorostnoi fyksatsyy krasytelei na tekstylnykh materyalakh / B. N. Melnykov, A. P. Morghanov, Yu. A. Kalynnykov. – М.: Lehprombytyzdat, 1989. – 207 s.
8. A.s. 1719501 SSSR, MKY D 0G R 5/04. Sposob krasheniya tekstylnoho materyala / Padokhyn V.A., Morghanov A.P., Semenov V.M., Smyrnova O.K., Konstantynov O.Y. (SSSR). - № 4792457/05; Zaiavleno 28.12.82; Opubl. 15.03.92. Biul. №10. – 12 s.
9. Davydzon M. Y. Yntensyfykatsiia massoobmennykh protsessov pry krashenyy priazhy/ M. Y. Davydzon // Tekstynaia promyshlennost. – 1987. – №12. – s. 15-18.
10. Shamyna L. V. Prymenenye dyspersnykh polyэфурных krasytelei dlia odnotonnoho krasheniya smeshannykh tkanei / L. V. Shamyna, Y. B. Blynycheva // RZhKh. – 1987. – №11. – s. 75.
11. Melnykov B. N. Sovremennoe sostoianye y perspektivy razvytiya tekhnolohyy krasheniya tekstylnykh materyalov / B. N. Melnykov, M. N. Kuryllova, A. P. Morghanov. – М.: Lehkaia y pyshchevaia promyshlennost, 1983. – 233 s.
12. Melnykov B. N. Teoryia y praktyka vysokoskorostnoi fyksatsyy krasytelei na tekstylnykh materyalakh / B. N. Melnykov, A. P. Morghanov, Yu. A. Kalynnykov. – М.: Lehpromyzdat, 1989. – 209 s.
13. Xerography: a novel technigie for textile printing // Text. Technol. Dig. – 1996. – Vol. 53, №10. – R. 64.
14. Technicel revolutions in textile printing // Text. Technol. Dig. – 1996. – Vol. 53, №6. – Pt. 1. – P. 56.
15. Smyrnova O.K. Dyffuziia dyspersnykh krasytelei v polyэфурных materyal v srede orhanycheskykh rastvorytelei / O. K. Smyrnova, N. S. Dymnykova // RZhKh. – 1986. – №12. – s. 54.
16. Zabrodyn S. A. Vlyianyie elektrycheskoho toka na svoistva poluchaemykh okrasok pry krashenyy lavsana / S. A. Zabrodyn, V. E. Miasoedov // Yzvestiia vuzov. Tekhnolohiya tekstyl. prom-sty. – 1992. – №2 (206) – s. 57-60.
17. Zabrodyn S. A. Vlyianyie elektrycheskoho toka na svoistva poluchaemykh okrasok pry krashenyy lavsana / S. A. Zabrodyn, V. E. Miasoedov // RZhKh. – 1991. – №9. – s. 58.
18. Horodnychaia T.Iu. Yntensyfykatsiia protsessov okrashivaniya dyspersnyy krasyteliamy trykotazhnykh poloten yz polyэфурных волокон : Dys...kand. tekhn. nauk: 05.19.03. – М., 1989. – 186 s.
19. A.s. 1636491, MKY D 06 M 15/643, 13/144. Sposob dlia obrabotky tekstylnykh materyalov / P. A. Hlubysh, Э. М. Rozhko, N. Y. Stepanchuk, F. B. Lynetskaia, L. R. Katanystaia. – opubl. 23.03.91.
20. Krychevskiy H. E. Teoryia y praktyka podgotovky tekstylnykh materyalov / H. E. Krychevskiy, A. Nykytkov. – М.: Lehprombytyzdat, 1989. – 33 s.

21. Pobedynskiy V. S. Rol mochevyny v uskorenny protsess zaparnoi mykrovolnovoi fyksatsyy dyspersnykh krasytelei / V. S. Pobedynskiy, H. A. Kolokhyna, A. V. Harel'n // RZhKh. –1990. – №1. – s. 54.
22. Konovalova M. V. Vliyaniye shchelochnoi obrabotky polyэфirnykh tekstylnykh materialov na ykh kolorystycheskiye kharakterystyky pry posleduiushchem krashenyy dyspersnyy krasyteliamy/ M. V. Konovalova, Y. V. Hlycheva, L. T. Kovtun // RZhKh. – 1996. – №11. – s. 58-59.
23. Anokhyn V. V. Khymyia y fizyko-khymyia polymerov / V. V. Anokhyn. – K.: Vyshcha shkola, 1987. – 389 s.
24. Tarutyna L. Y. Spektralnyi analiz polymerov / L. Y. Tarutyna, F. O. Rozdniakova. – L. : Khymyia, 1986. – 248 s.
25. Hanzhiuk A.Ia. Intensyfikatsiia protsesu koloruvannia poliefirnykh tekstylnykh materialiv dyspersnymy barvnykamy: dys...kand. tekhn. nauk: 05.19.03 / Hanzhiuk Alla Yaroslavivna. – Kh. 2004. – 171 s.
26. Orhanycheskiye syntetycheskiye krasytely: Kataloh. – M.: NYOPYK, 1984 – 67 s.
27. Sarybekov H. S. Spravochnyk po otdelke tekstylnykh materialov / H. S. Sarybekov. – K.: Tekhnika, 1984. – 350 s.
28. Laboratornyi praktikum po khymycheskoi tekhnolohyy tekstylnykh materialov: Uchebnoe posobyе dlia vuzov / T. S. Novoradovskaia y dr.; pod red. H. E. Krychevskoho. – M. : Lehprombytzdat, 1994. – 399 s.
29. Metody yssledovaniya v tekstylnoi khymyy: Spravochnyk / Pod red. H. E. Krychevskoho. – M.: Mezhdunarodnaia tekstylnaia akademyia NPO “Tekstylprohress” ynzhenernoii akademyi Rossyy, Rossiyskiy zaoshnyi unytut tekstylnoi y lehkoii promyshlennosti, 1993. – 402 s.
30. Fizyko-khymycheskiye metody analiza. Praktichesкое rukovodstvo: Uchebnoe posobyе dlia vuzov / V. B. Aleskovskiy, V. V. Bardyn, N. Y. Bulatov ; pod red. Aleskovskoho V.B. – L. : Khymyia, 1988. – 376 s.
31. Akhnazarova S. L. Optymizatsiia eksperymenta v khymyy y khymycheskoi tekhnolohyy / S. L. Akhnazarova, V. V. Kafarov. – M.: Vysshiaia shkola, 1998. – 320 s.
32. Rumshyskiy L.Z. Matematycheskaia obrabotka rezultatov eksperymenta: Spravochnoe posobyе / L. Z. Rumshyskiy. – M.: Nauka, 1981. – 192 s.
33. Planirovaniye eksperymenta v tekhnike / V. Y. Varabashchuk, B. P. Kredentser, V. Y. Myroshnychenko; pod red. B.P. Kredentsera. – K. : Tekhnika, 1984 – 200 s.
34. Venetskiy Y. H. Osnovnyye matematyko-statystycheskiye poniatyia y formuly v ekonomycheskom analize: spravochnyk / Y. H. Venetskiy, V. Y. Venetskaia. – 2-e yzd., pererab. y dop. – M.: Statystyka, 1989. – 448 s.
35. Yvakhnenko A. H. Modelirovaniye slozhnykh system po eksperymentalnym dannym / A. H. Yvakhnenko, Yu. P. Yurachkovskiy. – M.: Radyo y sviaz, 1987. – 116 s.
36. Hanzhiuk A. Ya. Vplyv intensyfikatoriv na dyfuziiu dyspersnykh barvnykiv v polietylentereftalatnyi material / A. Ya. Hanzhiuk, H. S. Saribekov, O. I. Kulakov // Problemy lehkoii y tekstylnoi promyshlennosti Ukrainy. – 2003. – №1(7). – s. 34 – 36.
37. Askadskiy A. A. Khymychesкое stroeniye y fizycheskiye svoistva polymerov / A. A. Askadskiy, Yu. Y. Matveev. – M.: Khymyia, 1983. – 250 s.
38. Lutsyk R. V. Teplomassoobmen pry obrabotke tekstylnykh materialov / R. V. Lutsyk, Э. S. Malkyn, Y. Y. Abarzhy. – Kyev: Nauk. dumka, 1993. – 344 s.
39. Hanzhiuk A.Ia. Vplyv riznykh faktoriv na hranychnu nafarbovanist poliefirnogo volokna / Hanzhiuk A.Ia., Kulakov O.I. // Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillia. – 2004. – №1. – s.107–111.

Рецензія/Peer review : 06.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

## РОЗРОБЛЕННЯ ВЗУТТЯ В СТИЛІ ГРАНЖ

*В статті досліджено конструктивні особливості взуття стилю гранж.*

*Розроблена конструкція взуття, технологічні етапи його виготовлення за індивідуальним замовленням та поетапна технологія фінішного оздоблення готових виробів.*

*Розроблено пакет конструкторсько-технологічної документації на виробу даного сегменту.*

*Виготовлено зразки моделей чоловічого взуття в стилі гранж з різним колористичним фінішним оздобленням.*

*Перевірено згідно вимог стандартів і доведено експериментальним шляхом високу зносостійкість лицевої поверхні матеріалів для верху взуття, а саме Красту оздобленого фінішними композиціями і готових виробів, здатність матеріалу до багаторазового згину, розтягу, мокрою і сухою тертя.*

*Підтверджено високі експлуатаційні характеристики взуття.*

*Доведено експериментальним шляхом доцільність даних робіт.*

*Ключові слова: розроблення, технологія, фінішне оздоблення, якість, зносостійкість, форма, шкіра, стиль, виріб.*

T. LIPSKYI, N. PERVAIA, A. BABYCH

Kyiv National University of Technology and Design

## DEVELOPMENT OF GRANGE STYLE SHOES

*In today's conditions it is fashionable and affordable for all people to make shoes to order. Living standards have changed, so the traditional concept of making shoes to order due to physiological needs or deviations in the feet of consumers has been added to the production of elegant model, casual, theatrical, stage, ceremonial shoes for all, without foot pathology. This segment of products includes shoes in the style of grunge.*

*In certain segments of the population of Ukraine, the so-called "golden youth", making shoes to order is a way of life and a certain status that allows them to feel special. And this is true to some extent, because the manufacturer of footwear enterprises of large, medium and even small capacity focuses on the requirements and needs of the mass buyer and can not fulfill the wishes of a particular person.*

*The design features of grunge style footwear are investigated in the article.*

*The design of footwear, technological stages of its production by the individual order and step-by-step technology of finishing of finished products is developed.*

*A package of design and technological documentation for products of this segment has been developed.*

*Samples of models of men's shoes in grunge style with different color finishes are made.*

*Tested according to the requirements of the standards and experimentally proven high wear resistance of the front surface of the materials for the upper shoes, namely Krast decorated with finishing compositions and finished products, the ability of the material to repeated bending, stretching, wet and dry friction.*

*High performance characteristics of footwear are confirmed.*

*The expediency of these works is proved experimentally.*

*Key words: development, technology, finishing, quality, wear resistance, shape, leather, style, product.*

### Вступ

Сучасна мода настільки багатогранна, що іноді важко зрозуміти, хто перед тобою – жебрак, безпритульний або неймовірно модний тусовщик. Якщо є сумніви, дивлячись на людину, яка, загалом, зовсім не схожа на безпритульного, будьте впевнені - він одягнений в стилі гранж.

Гранж увірвався в світ моди блискавично, зносячи на своєму шляху всі канони, традиції, химерність і звичні тенденції. Національна приналежність або вік для нього не має ніяких обмежень. Бути собою - це основне завдання.

Стиль гранж вперше з'явився в Америці 70-х років в колі нової субкультури. Її учасники, виступаючи проти матеріальних надмірностей і висловлюючи свої погляди на життя, самотність і депресивний настрій, «йшли в музику» - альтернативний рок. У навушниках хлопців грали треки таких відомих виконавців як Nirvana, PearlJam, AliceinChains.

XX століття, взагалі, характеризується як епоха пошуку в усьому: поети знаходили нові рими, а художники, наприклад, теми для своїх робіт. Серед творчої молоді стався бунт світогляду, ціла революція загальноприйнятих поглядів. Вони заперечували сприйняття одягу як чогось головного в людині. На перший план виносився внутрішній світ, в якому немає, і ніколи не буде, місця для гламуру [1].

Всю суть стилю гранж можна описати як: змішування непоєднаних елементів; комфорт і зручність на першому місці; байдужість до моди. Американський дизайнер Марк Джейкобс, який створював речі в стилі гранж казав: «Мода - питання грошей, стиль - питання індивідуальності»[2].

Досягти стилю гранж в одязі можливо за рахунок змішування не поєднаних елементів гардеробу, а здійснити це у взутті значно складніше. Одним із варіантів може бути виготовлення взуття за індивідуальним замовленням.

Виробництво взуття за індивідуальним замовленням дає можливість фахівцю творити використовуючи типові і не типові матеріали, класичні і удосконалені власноруч методи і методики



модельовання, технології складання деталей у виріб, а також дозволяє експериментувати з фінішними композиціями для оздоблення і досягати не просто бажаного, але й практично унікального результату.

Потрібно відмітити той факт, що виробництво взуття за індивідуальним замовленням стає дедалі популярнішим у світі, про що свідчать щорічні професійні виставки.

#### Постановка завдання

Сучасна мода достатньо демократична, широкий спектр можливостей сучасної людини і різноманітність трендів дозволяє створювати дизайнерам модні образи в будь-якому стилі. Молодь, наповнена бунтарським духом, духом неповторності і протесту суспільству, на протигагу гламурному SWAG і розумній повсякденності Smart Casual може обрати для себе не менш яскравий, але більш зухвалий та індивідуальний Grunge.

До основних характерних рис взуття в стилі гранж відносять: вільний крій; асексуальність; явна «поношеність» та «подертість»; «рвана» і «викривлена» структура матеріалу і виробу; «вицвілий» колір матеріалу, вінтажність; багатощаровість; застосування слоганів, малюнків тощо.

Реалізувати стиль гранж у взутті можливо при індивідуальному замовленні за рахунок застосування специфічних підходів до фінішного оздоблення або декорування, нетрадиційного конструктивного рішення дизайнера та інноваційних технологічних підходів щодо складання деталей у виріб. Найбільш прийнятним матеріалом для верху взуття в стилі гранж є натуральна шкіра Краст, яка відноситься до шкір з натуральною лицьовою поверхнею, для яких не було проведено механічне облагороджування (шліфування, тиснення тощо). Зазвичай, Краст виробниками взуття підбирається не фарбований, що дає можливість створення на його поверхні індивідуального кольору або ефекту. Краст, застосовуваний для виготовлення взуття, фарбується вручну і переважно вже у готовому виробі. Для надання взуттю кольору використовують спеціальні композиції (так звані колоранти) або готові фінішні композиції на водній або безводній (органічній) основі. Залежно від основних характеристик застосовуваних барвників Красту надають специфічних властивостей: яскравого або нетрадиційного кольору, ефекту потертості або патини, металічного блиску тощо. Вказані композиції використовують не у промисловому масштабі, а для ремісництва та штучної обробки.

Фінішні композиції для оздоблення шкіри Краст або виробів з неї є, зазвичай, імпортованими матеріалами, стилій перелік властивостей яких надає виробник у технічній документації [3-6, 7-9]. Перелік включає вид шкіри, яку можна фарбувати даним продуктом, колір і глибину проникнення композиції в структуру матеріалу, вказуються також специфічні властивості, що надає композиція шкірі (наприклад, воскова поверхня, водовідштовхувальні властивості, глянець, металічний блиск, перламутр тощо).

Таким чином, основною метою даної роботи є створення взуття у стилі гранж за рахунок розробки оригінальної конструкції, технології складання взуття та застосування фінішного оздоблення готового виробу.

Для досягнення мети роботи необхідно дослідити тенденції моди і попиту на взуття в умовах сучасних професійних виставкових центрів, виявити потреби споживачів і думки професіоналів щодо придбання виробів даного стильового сегменту, обґрунтувати споживчі потреби у формуванні сучасного асортименту, розробити конструкції взуття у стилі гранж, удосконалити етапи і технологічні процеси виробництва взуття.

#### Основна частина

В результаті аналізу сучасних напрямків моди та думок професіоналів і споживачів, отриманих на основі проведеного анкетування за критеріями вагомості в умовах міжнародної виставки «leather and shoes», м. Київ (рис.1), за підтримки ТОВ «Litini», була розроблена асортиментна серія чоловічих черевиків для повсякденного носіння у стилі гранж бренду «T.Lipski», виготовлено дослідні зразки моделі виробу з фінішним оздобленням (рис.2) за удосконаленою автором технологією виготовлення і фінішного оздоблення готових виробів [10, 11]. Візуалізація технологічних етапів виготовлення та фінішного оздоблення взуття за індивідуальним замовленням в стилі гранж представлена на рис. 3 (а-ж).



Рис. 1. Розподіл пріоритетів споживчих переваг при оцінці чоловічого взуття



**Рис. 2. Розроблений зразок черевиків чоловічих для повсякденного носіння в стилі гранж**  
**а – вид збоку; б – вид спереду; в – вид з заду; г – вид знизу**



**Рис. 3 Візуалізація етапів технології виготовлення та фінішного оздоблення взуття за індивідуальним замовленням в стилі гранж**  
**а – початковий етап (не оброблена заготовка з Красту); б – перший етап (зволоження, затягування заготовки на колодку, сушка); в – другий етап (знежирення заготовки мильним розчином, промивання, сушка); г, д – третій етап (нанесення фінішу б шарів, пошарова сушка); е – четвертий етап (вошіття); є – п'ятий етап (полірування); ж- готове взуття.**

Матеріали з фінішним оздобленням згідно загальновідомої методики (за ДСТУ ISO 5404:2007 Шкіра. Фізико-механічні випробування.) піддавались експериментальним випробуванням на фізико – механічні властивості фінішного покриття, а готове взуття піддавалось дослідному носінню (за методикою ДСТУ EN ISO 20344: 2009) для перевірки і підтвердження високих експлуатаційних властивостей виробу.

Для вивчення попиту щодо розробленого взуття в стилі гранж було проведено анкетування учасників професійної виставки «Leather and shoes – 2020», яких представляли виробничники та споживачі взуття. Визначено п'ять критерії вагомості, які впливають на вибір споживача, а саме: зовнішній вигляд (дизайн), ціна на виріб, вага виробу, матеріали, комфортність моделі. Опитування показало, що представлені моделі взуття даного стилю є цікавими, усі їх охоче розглядали, однак не всі з анкетованих осіб наважились би їх носити – 34%, охоче носили б, але не знають де купити – 46%, не носили б ніколи – 8%, не визначились – 12%. Всі респонденти зазначили щодо практичності та різноманітності оздоблення взуття фінішними композиціями, можливості оновлення кольору або його часткової чи повної зміни. Виробничниками однотайно було відмічено сучасність і трендовість моделей, однак, було зазначено, що для серійного виробництва представлені моделі не підходять. Це пов'язано з тим, що взуття виготовляється зі шкіри Краст, яка потребує обов'язкового фарбування та фінішного оздоблення у готовому виробі для надання необхідних функціонально-споживчих та естетичних характеристик, а також якість виконання оздоблення залежить від професіоналізму майстра. Тому необхідно більш глибоко займатися питанням удосконалення технології фінішного оздоблення взуття зі шкіри Краст.

В залежності від матеріалу підкладки та конструктивних особливостей виробу, розроблену модель взуття можна експлуатувати в різні періоди календарного року, про що свідчать позитивні результати дослідного носіння.

Для виготовлення дослідних зразків чоловічих черевиків в стилі гранж використано тільки натуральні матеріали: для верху взуття – шкіра Краст з сировини великої рогатої худоби (ВРХ); для підкладки – шкіра для підкладки взуття; для деталей низу взуття – шкіра Краст для низу взуття з чепрака ВРХ; нитки для складання заготовки та шнурівка виготовлені з бавовняного волокна. До підошви взуття для носіння у період «осінь-зима», може додатково додаватися комплект підошви з поруватої гуми чи поліуретану (ПУ), який за бажанням покупця прикріплюють до основної підошви для підвищення її зносостійкості під час виробництва виробу або під час ремонту взуття. Метод кріплення низу взуття клеє-прошивний. Черевики розроблялися і виготовлялися в умовах дизайн студії і технологічної лабораторії ТОВ «Litini».

Для визначення якості і експлуатаційних характеристик взуття було відібрано 5 зразків взуття і зразки матеріалу та проведено оцінку їх параметрів за такими показниками: стійкість покриття до багаторазового вигину; стійкість покриття до тертя (мокре, сухе); стійкість забарвлення до тертя (мокрого, сухого); стійкість забарвлення до дії органічного розчинника [12-17]. Результати випробувань представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Основні показники шкіри Краст, оздобленої фінішними композиціями**

Показник	Стандартизований показник за ДСТУ	Фінішна композиція за кольором		
		зеленого (Kenda Farben Spa)	синього (IEXI s.r.l)	червоно-коричневого (Biar)
1	2	3	4	5
Стійкість покриття до багаторазового вигину, вигини	50000	> 50000	> 50000	> 50000
Стійкість покриття до тертя, оберти:				
сухого	200	> 500	> 500	> 500
мокрого	100	> 500	200	150
Стійкість забарвлення до тертя, бали:				
сухого	2 – 5	5	5	4
мокрого	2 – 5	5	4	3
Стійкість забарвлення до дії органічного розчинника, бали	2 – 5	4	4	2

Отже, за результатами випробувань зрозуміло, що покриття яким оздоблено взуття з Красту має високу якість. Згідно стандартів оздоблення вважається стійким до сухого тертя якщо зразок шкіри витримує 200 обертів без пошкодження покриття, до мокрого – 100 обертів. Запропоновані автором для використання фінішні композиції надали Красту більшої стійкості ніж вимагає нормативна документація на шкіри для верху взуття. При визначенні стійкості покриття до багаторазового вигину відзначають кількість

вигинів (циклів) до появи утворення тріщин та зміни кольору, складки, осипання покриття. Всі зразки оздобленого Красту витримали більше 50000 вигинів без втрати цілісності покриття, його розтріскування та осипання, а це є відмінним результатом. Визначити міцність прилипання покриття до поверхні шкіри (адгезію) і товщину покриття на шкірі ваговим методом виявилось в даному дослідженні неможливо, оскільки на поверхні шкіри Краст фінішними композиціями не було сформовано плівку. Фінішні композиції швидко дифундують у структуру шкіри не утворюючи на її поверхні видимого покриття. Але слід відмітити і високі адгезійні властивості композицій до будь – якого матеріалу, використаного в дослідженні (скла, порцеляни, алюмінію тощо).

Зважаючи на особливості догляду за взуттям, визначено також стійкість забарвлення поверхні оздобленої шкіри до тертя та дії органічних розчинників. Стійкість, оцінена в балах за шкалою сірих еталонів, є максимальною (5 балів) для сухого тертя у всіх зразків. Стійкість забарвлення до дії органічних розчинників у шкір для верху взуття рідко досягає високих показників. Більшість органічних розчинників розчиняють оздоблювальні матеріали, змиваючи їх з поверхні шкіри. Саме тому вказаний показник не нормується для взуттєвих шкір. Проведене дослідження виявило достатньо високу стійкість (4 бали) до дії чотирихлористого вуглецю зразків зеленого та синього кольорів, що також можна пояснити специфічним складом цих композицій – композиція зеленого кольору є за характеристиками виробника лаком, а в композиції синього кольору міститься віск.

Визначення фізико-механічних показників оздобленого Красту, виявило збільшення показника границі міцності під час розтягування та зменшення подовження зразка під час напруження у порівнянні з Крастом без оздоблення (табл. 2.).

Таблиця 2

#### Фізико-механічні показники Красту, оздобленого фінішними композиціями

Показник	Краст, оздоблений фінішною композицією			Краст без оздоблення
	зеленою	синьою	червоно-коричневою	
1	2	3	4	5
Границя міцності під час розтягування, 10 МПа	2,1	1,7	1,65	1,5
Подовження під час напруження 10 МПа, %	22	34	36	40

Досягнення повної покривності Красту фінішними композиціями вплинуло на його еластичність. Найбільшої зміни зазнав Краст, оздоблений зеленою композицією, яка за 6 проходів нанесення повністю просочила дерму по товщині, зменшивши еластичність. При цьому на 40 % збільшилась міцність Красту, а видовження під час напруження у 10 МПа зменшилось на 45 %. Скоріше за все, такі відчутні зміни обумовлені органічною природою композиції і її жорсткою полімеризацією в структурі Красту.

У випадку використання композицій синього та червоно-коричневого кольорів зміни не такі суттєві. У порівнянні з показниками Красту до оздоблення, границя міцності під час розтягування у випадку застосування композиції синього кольору збільшується на 13,3 %, червоно-коричневого – 10,0 %. Подовження під час напруження у 10 МПа у випадку застосування композиції синього кольору збільшується на 15,0 %, червоно-коричневого – 12,5 %. Отримані дані дають змогу оцінити, як зміняться механічні показники Красту за умови нанесення фінішних композицій до повної його покривності. На що слід звернути уваги при використанні згаданих композицій.

#### Висновки

На сьогоднішній день виробництво взуття в стилі гранж є актуальним і затребуваним, але можливо тільки за індивідуального замовлення при застосуванні фінішних композицій для оздоблення готового виробу зі шкіри Краст.

Застосування фінішних композицій для оздоблення готового взуття з Красту є пріоритетним напрямом розвитку виробництва, оскільки розширює можливості і зменшує витрати на матеріали, що в цілому здешевлює вартість виробу не погіршуючи його естетичних, ергономічних, технологічних і гігієнічних характеристик.

Використання фінішних композицій для оздоблення взуття зі шкіри Краст дає змогу отримати покриття високої якості. Ефективність підтверджується високою стійкістю отриманого покриття до механічного впливу, дії води та органічних розчинників.

Результати дослідного носіння розроблених чоловічих черевиків в стилі гранж показали позитивні результати.

#### Література

1. <https://www.miraton.ua/fashioncocktail/derzkiy-stil-granzh-bunt-protiv-glamura-ili-trend-sezona.html>
2. Марк Джейкобс о гранже <http://www.lookatme.ru/flow/posts/fashion-radar/85081-granzh>

3. KENDAFARBENSpa. <http://www.kendafarben.it/>.
4. Biar.it. URL :<http://biar.it/homy/?lang=en>.
5. IEXIs.r.l. URL :<http://www.iexi.com/guest/en/home>.
6. ATK. <https://atk.kiev.ua/g22111750-kraski-finishi-iexi>.
7. T. Lipskyi, N. Pervaia, O. Okhmat, O. Mokrousova, A. Babych. Assessment of performance using compositions in crust leather decoration. Eastern-European journal of enterprise technologies ISSN 1729-3774, Том 6, №1/6 (109) 2021, 57-63 (2021): DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224226
8. Гаркавенко С.С., Бабич А.І., Охмат О.А., Липський Т.М. Дослідження показників якості композицій для оздоблювання шкіряного напівфабрикату Краст. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2020. № 5. С. 117 – 126.
9. Данилкович А.Г., Грищенко І.М., Ліщук В.І. Інноваційні технології виробництва шкіряних хутрових матеріалів та виробів : монографія / А. Г. Данилкович, І. М. Грищенко, В. І. Ліщук [та ін.]. – К.: Фенікс, 2012. - 344 с.
10. Андреева О.А., Грищенко І.М., Зварич І.Т. Особливості шкірянохутрової сировини : монографія. – Україна, К.: Світ успіху. – 2018. – 451 с.
11. Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги: ДСТУ 4239-2003 – [Чинний від 01-10-2004]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 24 с.
12. Засоби індивідуального захисту. Взуття побутового призначення. Технічні умови (EN ISO 20345:2004/AC:2007/A1:2007, IDT) : ДСТУ EN ISO 20345:2009. – [Чинний від 2012-01-01] – К. : Держспоживстандарт України 2012.– 11 с. – (Національний стандарт України).
13. ДСТУ ISO 5404:2007 Шкіра. Фізико-механічні випробування.
14. ГОСТ 938.11 Кожа. Метод испытанія на растяжение.
15. ГОСТ 13868 Кожа хромовая для верха обуви. Метод определения устойчивости покрытия к многократному изгибу.
16. ГОСТ 939 Кожа для верха обуви. Технические условия.
17. ГОСТ 938.29 Кожа. Метод испытанія устойчивости окраски к сухому и мокрому трению.

#### References

1. <https://www.miraton.ua/fashioncocktail/derzkiy-stil-granzh-bunt-protiv-glamura-ili-trend-sezona.html>
2. Mark Jacobs on grunge <http://www.lookatme.ru/flow/posts/fashion-radar/85081-granzh>
3. KENDAFARBENSpa. <http://www.kendafarben.it/>.
4. Biar.it. URL: <http://biar.it/homy/?Lang=en>.
5. IEXIs.r.l. URL: <http://www.iexi.com/guest/en/home>.
6. ATK. <https://atk.kiev.ua/g22111750-kraski-finishi-iexi>.
7. T. Lipskyi, N. Pervaia, O. Okhmat, O. Mokrousova, A. Babych. Assessment of performance using compositions in crust leather decoration. Eastern-European journal of enterprise technologies ISSN 1729-3774, Volume 6, Page 6 /1 (109), 2021, 57-63 (2021): DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224226
8. Garkavenko SS, Babych AI, Okhmat OA, Lipsky TM Research of quality indicators of compositions for finishing of leather semi-finished product Krast. Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences. 2020. № 5. S. 117 - 126.
9. Danilkovich AG, Grishchenko IM, Lishchuk VI Innovative technologies of production of leather fur materials and products: monograph / AG Danylkovych, IM Grishchenko, VI Lishchuk [etc.].. - K. : Phoenix, 2012. - 344 p.
10. Andreeva OA, Grishchenko IM, Zvarych IT Features of leather and fur raw materials: monograph. - Ukraine, K. : The world of success. - 2018. - 451 p.
11. Textile and leather materials and household products. Basic hygienic requirements: DSTU 4239-2003 - [Effective from 01-10-2004]. - Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2004. - 24 p.
12. Personal protective equipment. Household shoes. Technical conditions (EN ISO 20345: 2004 / AC: 2007 / A1: 2007, IDT): DSTU EN ISO 20345: 2009. - [Effective from 2012-01-01] - K.: Держспоживстандарт України 2012.– 11 с. - (National standard of Ukraine).
13. DSTU ISO 5404: 2007 Leather. Physico-mechanical tests.
14. GOST 938.11 Leather. Tensile test method.
15. GOST 13868 Chrome leather for shoe uppers. Method for determining the resistance of the coating to repeated bending.
16. GOST 939 Leather for shoe uppers. Technical conditions.
17. GOST 938.29 Leather. Method of testing the resistance of paint to dry and wet friction.

Рецензія/Peer review : 02.02.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

М.М. ЛЕЩИШИН, Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОМФОРТНОГО ТИСКУ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ВЗУТТЯ НА СТОПУ СПОЖИВАЧА

*В роботі наведено результати калібрування резистивного датчика сили та представлено макет-трансформер взуття з використанням дослідного зразка комп'ютерної системи для визначення комфортних параметрів на основі відчуттів тиску на стопу замовника. Наведено результати досліджень індивідуальних відчуттів тиску на стопу взуттям у стані стояння та стані ходьби.*

*Ключові слова: антропометричні параметри, стопа, тиск, макет-трансформер, комфорт.*

M.M. LESHCHYSHYN, D.V. STATSENKO, B.M. ZLOTENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

### RESEARCH OF COMFORTABLE PRESSURE OF THE INNER SURFACE OF SHOES ON THE FOOT OF THE CONSUMER

*The foot is a complex static-dynamic system, the mathematical description of which requires taking into account many factors and individual features in order to ensure a sufficient level of shoe comfort. The effect of the same factor on different feet is completely different.*

*In the course of operation of footwear preservation of natural anatomic construction of foot in its satisfactory functioning is possible in that case if to provide convenience and to protect foot from external environment. The need to wear comfortable shoes has always been a topical issue for the consumer, but in mass factory production it is not always possible to meet the criteria of shoe comfort for each user due to the individual structure and biomechanical characteristics of his foot.*

*The footwear is made according to individual measurements of the customer's foot, takes into account all nuanced deviations in the foot, levels of sensitivity in different parts of the foot, individual color requests, the method of fastening the workpiece from top to bottom, processing.*

*Therefore, the main requirement for footwear is its rationality, the internal shape of which must correspond to the size and anthropometric features of the consumer's foot.*

*The manufacture of individual footwear begins with measurements of the basic anthropometric parameters of the feet, which are taken into account when designing the pad. But to create comfortable shoes, it is necessary to take into account the feeling of pressure on the foot.*

*The aim of the work is: calibration of a resistive force sensor and development of a fitting model-shoe transformer to increase comfort based on individual sensations of pressure on the customer's foot while standing and walking, using a computer system based on Arduino Uno microcontroller to measure subjective comfort.*

*Keywords: anthropometric parameters, foot, pressure, model-transformer, comfort.*

### Постановка завдання

Стопа - складна статико-динамічна система, математичний опис якої потребує урахування багатьох факторів та індивідуальних особливостей з метою забезпечення достатнього рівня комфортності взуття. Вплив одного і того ж фактора на різні стопи абсолютно різний.

В процесі експлуатації взуття, збереження природньої анатомічної побудови стопи у її задовільному функціонуванні можливе в тому випадку, якщо забезпечити зручність і захистити стопу від зовнішнього середовища. Необхідність носіння комфортного взуття завжди було актуальним питанням для споживача, проте в умовах масового фабричного виробництва не завжди вдається задовольнити критерії комфорту взуття для кожного користувача у зв'язку з індивідуальними особливостями будови та біомеханічних характеристик його стопи.

Основна вимога до взуття полягає в його раціональності, воно повинне бути таким, щоб його основні розміри й внутрішня форма відповідали розмірам і антропометричним особливостям стопи споживача [1].

### Аналіз останніх джерел

Вирішенню проблеми проектування і виготовлення комфортного взуття присвячені фундаментальні праці вітчизняних і зарубіжних вчених В. П. Либа [2], В. О. Фукін [3] та ін.

Як показав аналіз робіт, присвячених проблемі комфортності взуття [4, 5], можна зробити висновок, що автори розглядали питання комфортності взуття з позиції масового виробництва. Сьогодні все більша кількість споживачів, звертаються до індивідуального пошиття в зв'язку з такими факторами, як: екологічність, маленький або великий розмір стопи, сегмент споживачів, вид діяльності (що працюють у шоу бізнесі, celebrity) і т.д. які потребують певної конструкції взуття.

У зв'язку з гонитвою за модою та естетичним виглядом взуття, більшість виробників в основному упускають найважливіші завдання: виготовити споживачам взуття, яке захищає стопу від зовнішніх впливів та буде комфортним при експлуатації.

Силова взаємодія стопи та взуття дуже складний процес. На верх взуття діють активні сили тиску тильної частини стопи, а на низ взуття - реактивні сили тиску підошовної частини стопи і активні сили опорного тиску стопи [6-9].

Нерви і капіляри легко стискаються навіть при невеликому тиску взуття, при цьому кровообіг порушується. Встановлено, що пульсація у великих артеріях, які залягають в глибині стопи, може бути припинена при тиску близько  $26 \cdot 10^3$  Па. Тиск же в капілярному руслі дорівнює  $(1,3-2) \cdot 10^3$  Па. Виходячи з цього вважають, що тиск верху взуття на одиницю поверхні тильної і бічних сторін стопи, виключаючи область пальців, щиколоток, кісточкових борозен і гомілковостопного суглоба, допустимий в межах до  $1 \cdot 10^3$  Па.

Підвищений тиск в капілярах може привести до зупинки кровообігу і, отже, до уражень стопи. Що стосується пальців, області зовнішньої і внутрішньої щиколоток і самих кісточок, то ці ділянки не повинні піддаватися стиску, так як жировий прошарок тут тонкий і навіть незначний тиск може викликати больові відчуття.

Виходячи з середньої маси людини та середньої площі опори, наближено вважають, що середній тиск на опору дорівнює 0,05 МПа. Довжина нормальної стопи при навантаженні її всією вагою тіла збільшується в середньому на 2-3мм, ширина на 2,5мм, обхват в пучках на 7-12мм, обхват в підйомі на 4-8мм. При стоянні людини кут, утворений віссю гомілки з віссю першої плеснової кістки, дорівнює  $117^\circ$ , а нормально рівноважного стану відповідає величина зазначеного кута  $127^\circ$ . Тому в нормальному взутті п'ята повинна бути піднята на каблук. При підйомі п'яти стопи на каблук розподіл тиску на опору при стоянні людини змінюється.

При значному підйомі п'яти (висота каблука 60-70мм) в області головок плеснових кісток тиск підвищується в 3-4 рази. У той же час при висоті каблука до 30 мм тиск перерозподіляється незначно. Для більш рівномірного розподілу тиску форма п'яtkової частини устілки повинна відповідати формі п'яти стоп.

Фізіологічний ефект динамічного навантаження стопи залежить від багатьох чинників: величини; місця докладання і напрямки сил, що діють на стопу; загальної схеми напруженого стану стопи і т.д. Величина, напрямок і місця прикладання силових факторів, діючих на стопу, різко змінюються в процесі ходьби і бігу.

Виготовлення індивідуального взуття розпочинається з обмірів основних антропометричних параметрів стоп, які враховуються при проектуванні колодки. Але для створення комфортного взуття обов'язково потрібно врахувати відчуття тиску на стопу.

**Метою роботи є:** калібрування резистивного датчика сили та розробка примірного макета-трансформера взуття для підвищення комфортності на основі індивідуальних відчуттів тиску на стопу замовника в стані стояння та ходьби, з використанням комп'ютерної системи на базі мікроконтролера Arduino Uno для виміру рівня суб'єктивного комфорту.

### Виклад основного матеріалу

В роботі представлено дослідний зразок комп'ютерної системи для визначення комфортних параметрів на основі індивідуальних відчуттів тиску на стопу замовника (рис. 1.а).

Комп'ютерна система складається з наступних елементів: DD1 – мікроконтролер Arduino UNO, R1 – резистор 3.3 кОм, FSR1 – резистивний датчик сили FSR402. Резистивний датчик сили та подільник напруги під'єднані до виводу A0 мікроконтролера Arduino Uno. Напряга живлення складає 5В.

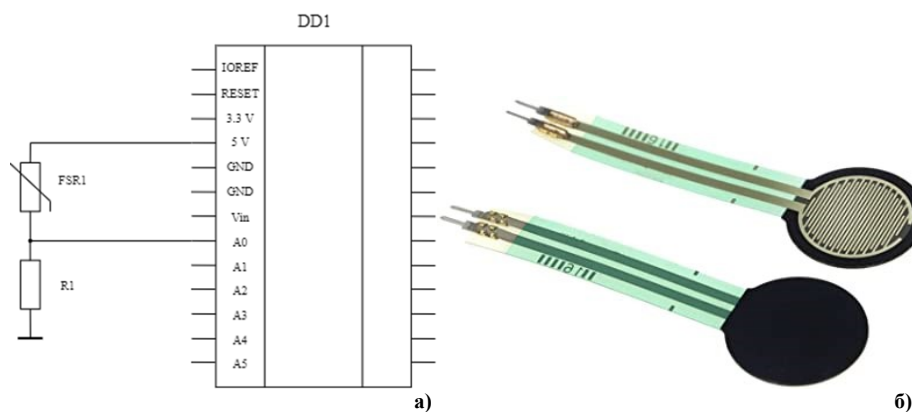


Рис. 1. а) - Електрична схема дослідного зразка; б) - Резистивний датчик сили FSR402

Резистивні датчики сили FSR402 - це датчики, які дозволяють оцінити рівень тиску, силу натискання і вагу (рис. 1.б).

Резистивні датчики сили по суті є резисторами, які змінюють значення свого опору (в Ом) в залежності від сили натискання на чутливий елемент.

Принцип роботи приладу полягає в наступному. Коли сила прикладена до датчика дорівнює нулю, його опір буде майже нескінченний, відповідно сигнал з датчика також дорівнює нулю.

Коли на резистивний датчик сили буде прикладене навантаження на виводі A0 з'явиться аналоговий сигнал. АЦП перетворює цей сигнал на цифрове значення сили, прикладеної до датчика та виводить його на дисплей монітора.

Для калібрування приладу використовувались вантажі масою 0,1 кг; 0,2 кг; 0,3 кг; 0,4 кг і 0,5 кг, які встановлювались на датчик тиску через перехідний диск (рис. 2).

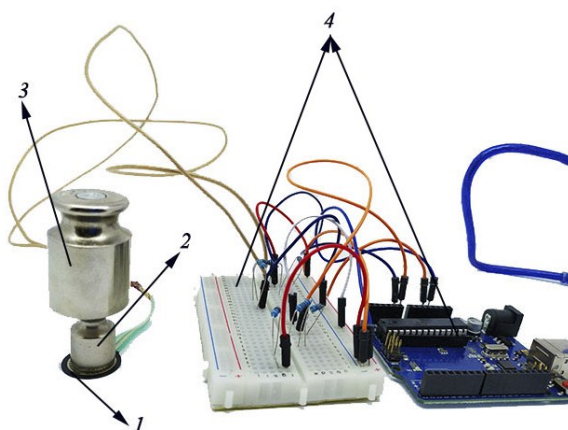


Рис. 2. Калібрування приладу: 1 – резистивний датчик сили; 2 – перехідний диск; 3 – вантаж; 4 – комп’ютерна система

Тиск на датчик визначався для кожного вантажу за формулою:

$$P_i = \frac{(m_i+m)g}{S}, \tag{1}$$

де  $P_i$  – тиск і-го вантажа, Па;  $m_i$  – маса і-го вантажа, кг;  $m = 0,01$  кг маса перехідного диска;  $g$  – прискорення вільного падіння, кг/м<sup>2</sup>;  $S$  – площа перехідного диска, на яку тисне вантаж, м<sup>2</sup>.

Площа, на яку тисне вантаж:

$$S = \pi r^2, \tag{2}$$

де  $r = 0,005$ м – радіус перехідного диска.

Підставляючи (2) в (1), отримаємо:

$$P_i = \frac{(m_i+m)g}{\pi r^2}. \tag{3}$$

За результатами проведених експериментальних досліджень, отримані дані необхідні для калібрування датчика сили в діапазоні ваги 100-500г. Результати даних наведені в табл.1.

Таблиця 1

Результати калібрування приладу для вимірювання тиску

$m, \text{ кг}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$P_i, \text{ Па}$	13746,5	26243,3	38740,1	51236,9	63733,7
Показання приладу	231	567	736	786	1 054

На рис. 3 наведено результати апроксимації калібрувальної залежності, відповідно до даних табл. 1.

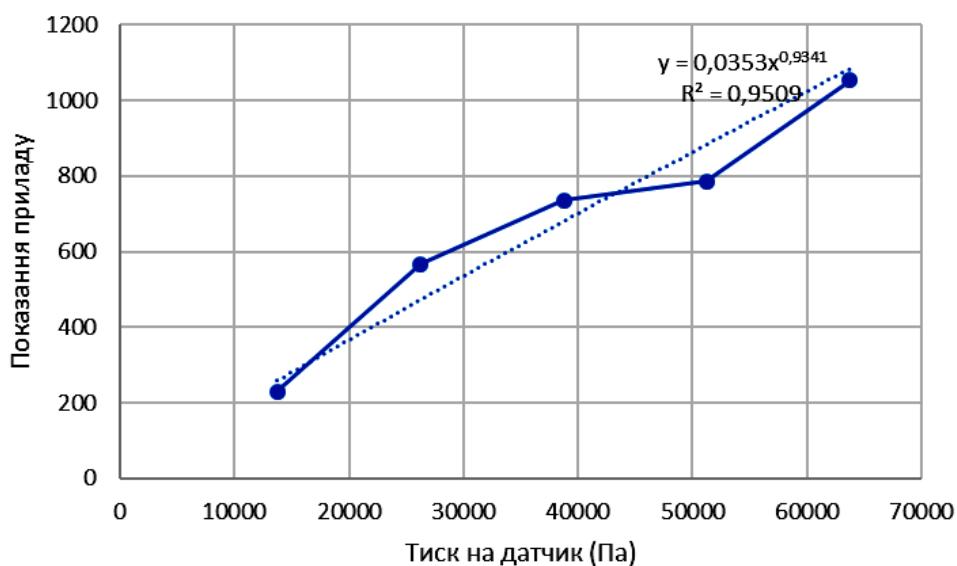


Рис. 3. Апроксимація калібрувальної залежності показників приладу від тиску на датчик



Апроксимуюча функція має вигляд:

$$Y = 0,0353 \cdot P^{0,9341}, \quad (4)$$

де  $Y$  – показник приладу;  $P$  – тиск на датчик, Па.

З виразу (4) отримаємо формулу для визначення тиску на датчик в залежності від показання приладу:

$$P = \left(\frac{Y}{0,0353}\right)^{\left(\frac{1}{0,9341}\right)} \text{ (Па)}. \quad (5)$$

Закріплення датчиків на внутрішній поверхні макету взуття дозволяє вимірювати тиск між стопою і внутрішньою поверхнею взуття як в статичних, так і в динамічних умовах.

Виготовлення індивідуального взуття розпочинається з обмірів основних антропометричних параметрів стоп, які враховуються при проектуванні колодки. Але для створення комфортного взуття обов'язково потрібно врахувати відчуття тиску на стопу.

Для вирішення даного завдання, був виготовлений макет-трансформер взуття (рис. 4.а), з використанням комп'ютерної системи на базі мікроконтролера Arduino Uno (рис. 4.б) для виміру рівня суб'єктивного комфорту.

Макет являє собою заготовку верху закритого взуття зі шкіри, з шкіряним підкладом, затягнуту на чоловічу взуттєву колодку, до якої приклеєна тонка, плоска підошва з каблукі, розміром 285мм. У заготовці взуття зроблені невеликі вирізи у відповідних місцях, що не призводять до руйнування верху, де закріплені застібки «велкро», за допомогою яких конструкція взуття допускає зміну параметрів у найважливіших антропометричних точках обміру стопи. Макет дозволяє передати стопі відчуття повноцінного взуття та виміряти комфортний тиск верху взуття на стопу.

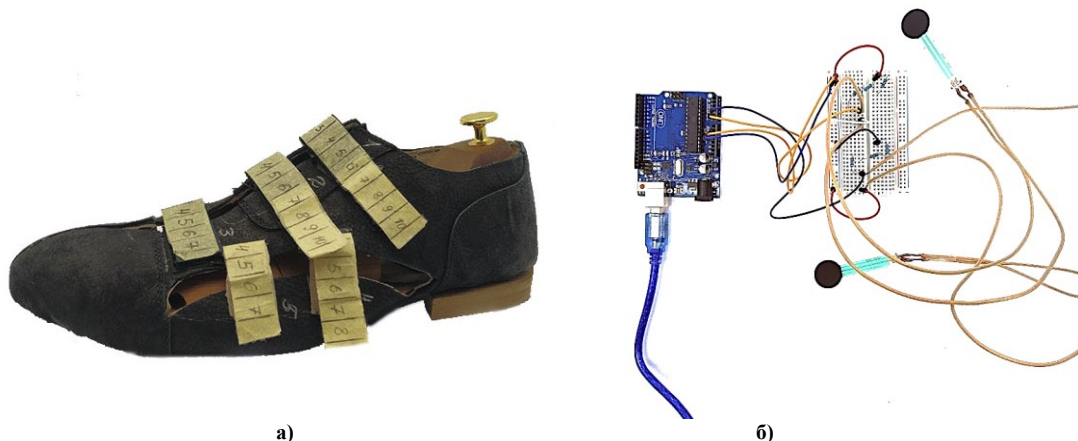


Рис. 4. а) - Макет-трансформер взуття; б) - Дослідний зразок з використанням комп'ютерної системи на базі мікроконтролера Arduino Uno

На макеті зафіксовано 7 застібок (рис. 5.а), на яких відмічена шкала довжиною від 70-100мм (рис. 5.б), кожна з яких розміщена у відповідних місцях:

- 1) застібка А – найвища точка висоти берця напівчеревики (від т.С +70мм вверх по центру гребеня);
- 2) застібка В – зафіксована на прямому підйомі (0,55Дст);
- 3) застібка С – точка калъцати т.С (центр лінії внутрішнього та зовнішнього пучків (кальцата));
- 4) застібка D – середина сопи з зовнішнього боку (0,5Дст);
- 5) застібка E – точка зовнішнього пучка (0,68Дст);
- 6) застібка F – середина стопи з внутрішнього боку (0,5Дст);
- 7) застібка G – точка внутрішнього пучка (0,72Дст).

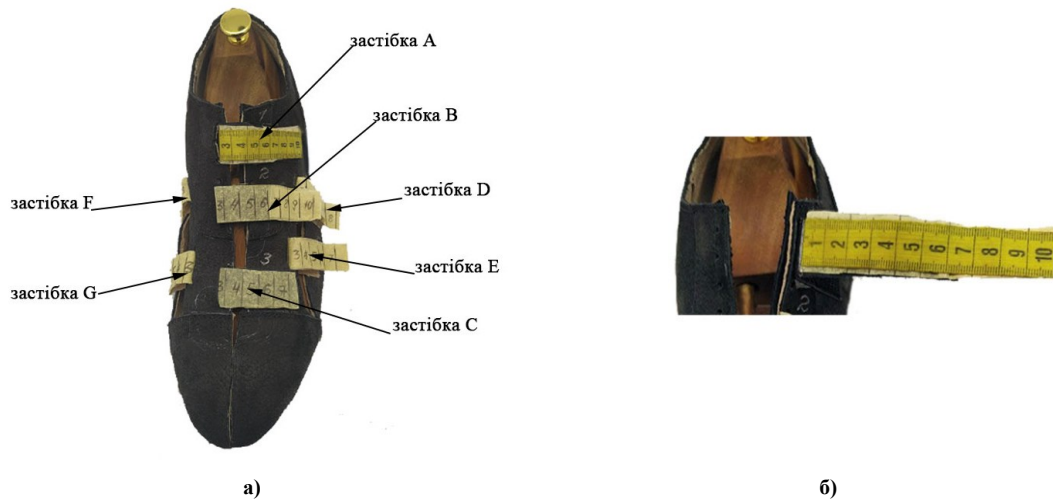


Рис. 5. а) - Фіксація ноги застілками «велкро» на різних довжинах; б) - Шкала довжини на застібках

Отримання інформації про вимірювання тиску внутрішньої поверхні взуття на стопу з урахуванням її основних анатомічних параметрів в різних ділянках стопи за допомогою структурної схеми дослідного зразка за методикою [9, 10] передбачає наступні етапи:

1. Підготовчий етап полягає у нанесенні міток на макет-трансформер (рис.6) у таких ділянках:
  - точка 1 на прямому підйомі 0,55Дст,
  - точка 2 внутрішнього пучка 0,72Дст,
  - точка 3 зовнішнього пучка 0,68Дст,
  - точка 4 висота п'ятки  $V_{п} = 0,2N + 12$

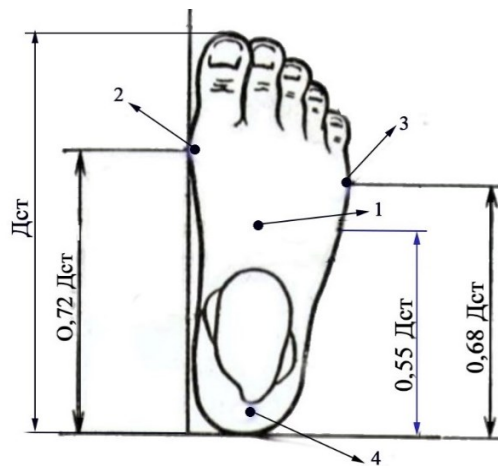


Рис. 6. Антропометричні точки стопи для встановлення датчиків тиску

2. Встановлення датчиків тиску з внутрішнього простору взуття у зазначених місцях кріплять до стопи поліхлорвініловою липкою стрічкою.
3. Підключення датчиків до структурної схеми дослідного зразка.
4. Замовник фіксує макет-трансформер взуття на нозі за допомогою застібок «велкро» та оцінює комфортність тиску у балах від 1-10 (табл. 2), при різних фіксованих довжинах робочих часин застібок (рис. 7).
5. Етап реєстрації даних тиску на стопу у різних стадіях відчуття комфортності –у статиці та динаміці.
6. Отримання результатів – збереження інформації.
7. Здійснення необхідних автоматизованих вимірів шляхом порівнювальних, розрахункових та графічних процедур.

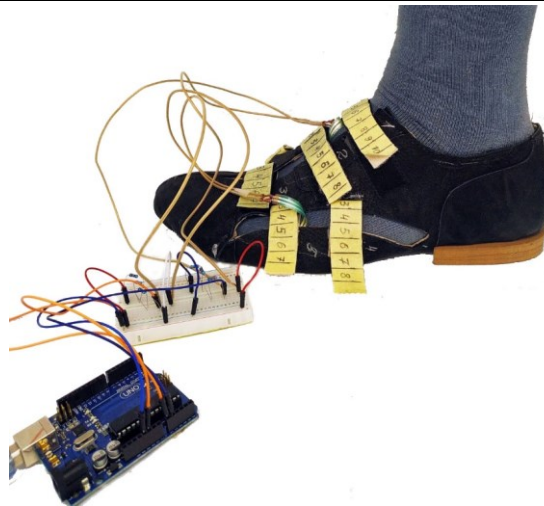


Рис. 7. Фото макета-трансформера на нозі замовника

Таблиця 2

## Шкала оцінювання комфортності взуття на основі фіксації застібок на макеті

Оцінка	Відчуття стану комфорту
10	Відмінно
9	
8	
7	Помірний ступінь дискомфорту
6	
5	
4	Важкий ступінь дискомфорту
3	
2	
1	Незадовільно

Виготовлення взуття за індивідуальним замовленням має свої особливості виробництва та виконання етапів конструкторської підготовки виробництва, в тому числі і антропометричних досліджень стопи клієнта.

Задача полягає не просто у виготовленні індивідуального взуття по антропометричним розмірам стопи, а у створенні взуття яке задовольнить власне суб'єктивне відчуття зручності. Враження комфортності взуття у різних споживачів буде різне.

При вимірюванні тиску стопи на внутрішню поверхню взуття, де встановлені датчики, показання приладу переводяться у величину тиску за формулою 5.

Отримані результати наведені в табл. 3.

Таблиця 3

## Результати вимірювання тиску між стопою і верхом макета

Номер точки	1	2	3	4	5	6
$P_1$ , Па в точці 1	688,4	2944,4	8269,5	10491,2	16227,9	49255,9
Показання приладу: в точці 1	15,8	61,4	161,1	201,2	302,4	853,1
$P_2$ , Па в точці 2	614,1	2540,7	7475,3	8869,9	14544,8	43279,0
Показання приладу: в точці 2	14,2	53,5	146,6	172,0	273,0	756,0
$P_3$ , Па в точці 3	628,0	2221,8	7224,5	9645,0	15070,2	44776,1
Показання приладу: в точці 3	14,5	47,2	142,0	186,0	282,2	780,4
$P_4$ , Па в точці 4	628,0	1861,1	4964,3	8209,1	13259,7	38668,8
Показання приладу: в точці 4	14,5	40,0	100,0	160,0	250,4	680,5

Суб'єктивне відчуття комфорту оцінене споживачем у словесній формі (в балах від 1-10) при зафіксованих величинах тиску на стопу наведені в табл. 4 і на рис. 5.

Таблиця 4

## Оцінка комфортності взуття за допомогою фіксації макета-трансформера на стопі в стані стояння

Фіксація макета на нозі:	Спадає з ноги	Дуже вільно	Вільно припасовано	Припасовано	Щільно припасовано	Дуже щільно	Пережимає
Довжина робочої частини: застібки А, мм	51,0	45,0	39,0	34,0	31,0	28,0	24,0
застібки В, мм	51,0	45,0	39,0	34,0	30,0	29,0	25,0
застібки С, мм	33,0	28,0	26,0	22,0	19	17,0	15,0
застібки D, мм	34,0	29,0	26,5	22,0	20	17,5	16,0
застібки Е, мм	34,0	29,0	26,5	20,0	17	15,5	15,0
застібки F, мм	32,0	28,0	25,0	22,0	20	17,0	16,0
застібки G, мм	32,0	28,0	25,0	20,0	17	15,5	15,0
Відчуття комфорту, бали	3	7	8	9	10	6	2
Тиск в точці виміру 1, Па	-	688,4	2944,4	8269,5	10491,2	16227,9	49255,9
Тиск в точці виміру 2, Па	-	614,1	2540,7	7475,3	8869,9	14544,8	43279,0
Тиск в точці виміру 3, Па	-	628,0	2221,8	7224,5	9645,0	15070,2	44776,1
Тиск в точці виміру 4, Па	-	628,0	1861,1	4964,3	8209,1	13259,7	38668,8

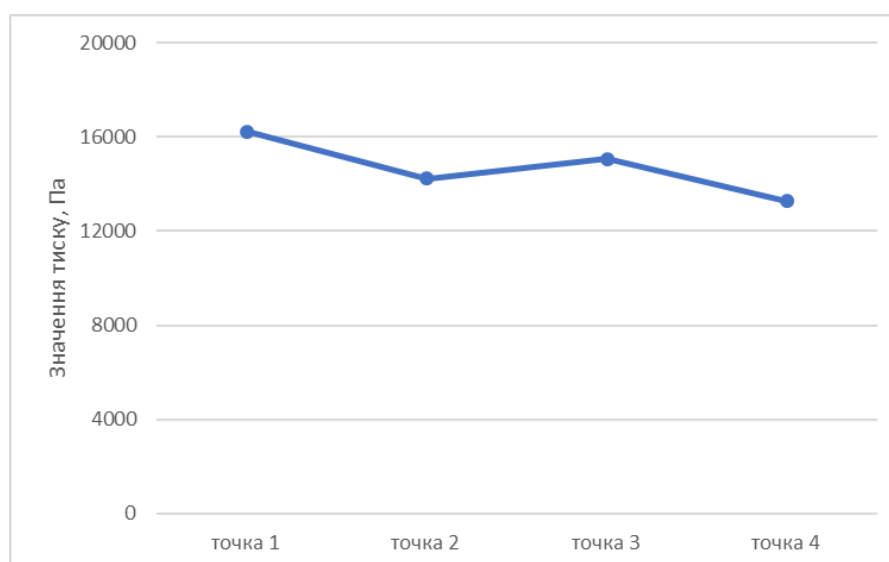


Рис. 8. Діаграма комфортних параметрів тиску в різних точках

З табл. 4 видно, що найвищу оцінку комфортності у стані стояння замовник відчуває при щільно припасованих застібках макета до стопи. Фіксований тиск на стопу в різних точках при такій фіксації в межах від 8869,9 - 10491,2 Па. Первинна оцінка зручності взуття в момент його примірки зв'язана з розпізнаванням і порівнянням психічного образу взуття, що приміряється.

Наступне питання експерименту зводилось до того, щоб визначити тиск при ходьбі, який відповідає відчуттю комфорту.

Ходьба - це складний циклічний рух, пов'язаний з відштовхуванням тіла від опорної поверхні і переміщенням його в просторі.

Характерним для ходьби є постійне збереження опори на одну або обидві ноги. Рух людського тіла є результатом взаємодії зовнішніх і внутрішніх сил. До зовнішніх сил відносяться сила тяжіння тіла, опорні реакції, опір середовища. Внутрішні сили виникають всередині тіла людини, при взаємодії окремих його ділянок [10].

Виходячи з механізму руху, при ходьбі розрізняють наступні фази кроку [11], рис.9.:

- 1 – а) переكات через п'яту;
- 2 – б) опора на всю стопу;
- 3 – в) переكات через передній відділ;
- 4 – г) переносний період.

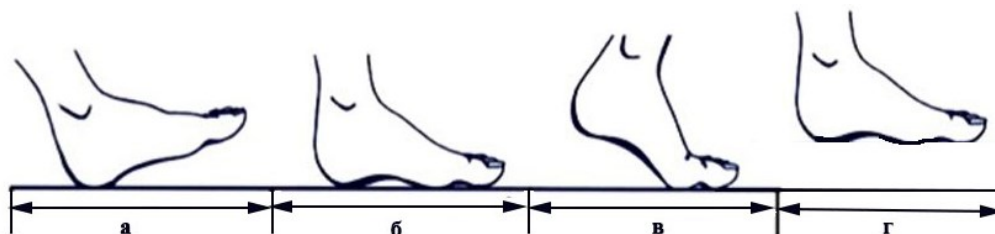


Рис. 9. Фази кроку

В умовах ходьби тиск вимірювався при комфортному припасуванні застібок.

З табл.4 видно, що найбільш задовільний комфорт взуття у стані стояння замовник отримує за умови щільно припасованого макету до стопи. Для визначення тиску в процесі ходьби, використано ті ж дані зручної затяжки застібками (табл.5).

Таблиця 5

**Параметри щільно припасованого макета до стопи**

Довжина робочої частини:	застібки А, мм	застібки В, мм	застібки С, мм	застібки D, мм	застібки Е, мм	застібки F, мм	застібки G, мм
Параметри	31,0	30,0	19,0	20,0	17,02	20,0	17,0

Отримані значення тиску наведені в табл.6 і на рис. 10.

Таблиця 6

**Визначення комфортного тиску на стопу в різних фазах кроку**

Фази кроку:	Фаза 1 - переكات через п'яту	Фаза 2 – опора на всю стопу	Фаза 3 – переكات через передній відділ	Фаза 4 – переносний період
$P_1$ , Па в точці 1	13067,1	10647,5	14146,0	10535,8
Показання приладу: в точці 1	247	204	266	202
$P_2$ , Па в точці 2	10201,2	9201,6	10647,5	9312,3
Показання приладу: в точці 2	196	178	204	180
$P_3$ , Па в точці 3	10480,0	9867,2	11263,3	9811,6
Показання приладу: в точці 3	201	190	215	189
$P_4$ , Па в точці 4	8814,7	8209,1	8869,9	8209,1
Показання приладу: в точці 4	171	160	172	160

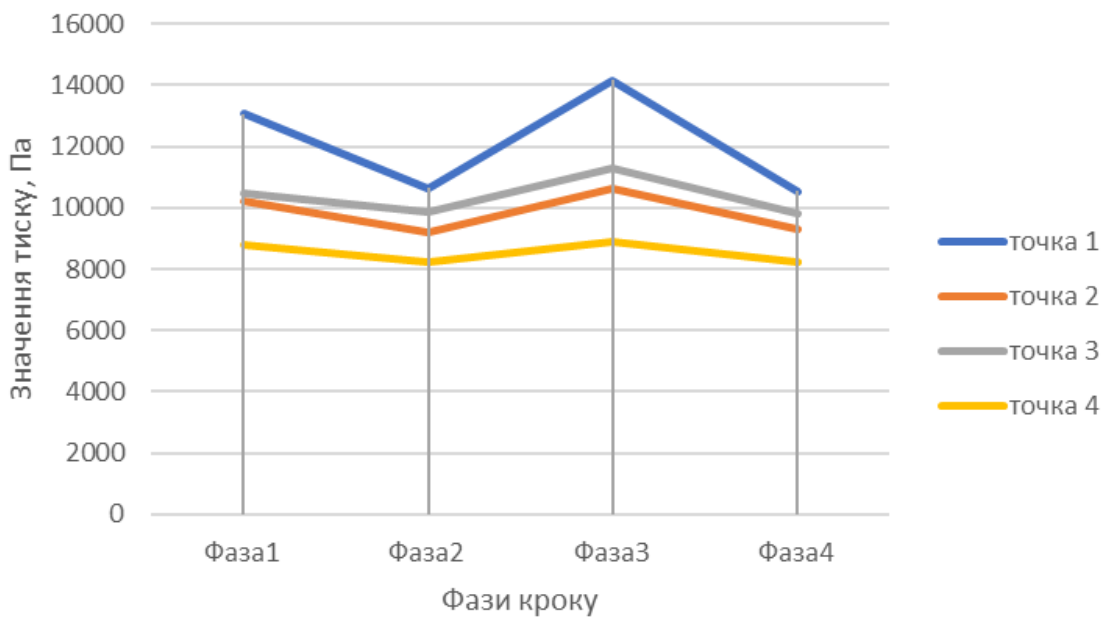


Рис. 10. Діаграма зміни тиску у визначених точках при ходьбі

З отриманих результатів можна зазначити, що піковий комфортний тиск у стані стояння (табл. 4) в зазначених антропометричних точках сягає 10491,2 Па, а при ходьбі (табл. 6) це значення підвищується до 14146,0 Па. Різниця даних значень дорівнює 3654,8 Па.

Отже, на основі отриманих результатів вимірювання тиску можна надати рекомендації щодо вимірювання тиску та затягування застібок на макеті в стані стояння. Для того, щоб замовник відчував комфорт не тільки стоячи, а й при ходьбі, в умовах стояння потрібно зменшити тиск на стопу за допомогою застібок на різницю 3654,8 Па.

Піковий задовільний тиск в статистиці повинен бути:  $10491,2 - 3654,8 = 6836,4$  Па

Тоді, з урахуванням величини збільшення тиску при ходьбі людина буде відчувати комфортний тиск на стопу, аналогічний тому, який визначається в умовах стояння.

### Висновки

1. На основі комп'ютерної системи з мікроконтролером Arduino Uno і резистивними датчиками сили FSR402 розроблено прилад для визначення тиску між стопою і внутрішньою поверхнею взуття.
2. В результаті проведеного калібрування приладу встановлено однозначну залежність між показаннями приладу і величиною вимірюваного тиску, що дозволяє визначити тиск внутрішньої поверхні взуття на стопу як в процесі стояння, так і в процесі ходьби.
3. Виготовлений макет-трансформер взуття з використанням установки комп'ютерної системи на базі мікроконтролера Arduino Uno надає можливість виміряти рівень суб'єктивного комфортного тиску взуття на стопу замовника.
4. В результаті проведення виміру тиску у стані стояння та стані ходьби наведені фіксовані значення комфортного тиску на стопу в різних зазначених точках та при різних фазах ходьби.
5. Надані рекомендації комфортної затяжки застібок на макеті взуття та скореговано пікову комфортну величину тиску у стані стояння, для забезпечення комфорту у різних станах.

### Література

1. Бегняк В. І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри: Навч. посібник. – Хмельницький, 2002. – 260 с.
2. Лыба В.П. Теория и практика проектирования комфортной обуви: дис. доктора техн. наук: 05.19.06 / Лыба Владимир Петрович. – М., 1996. – 314.
3. Фукин В.А. О комплексе свойств, определяющих комфортность обуви / В.А. Фукин, Д.О. Саккулина, В.В. Костылева // Кожев. – обув. Пром-сть – 1994, № 1–2. – С. 37–38.
4. Александров С.П. Автоматическое профилирование поверхности стелечного узла / С.П. Александров, О.В. Паршина // Кожев. – обув. Пром-сть. – 1998. – № 8. – С. 12–16.
5. Замарашкин Н.В. Исследование закономерностей формообразования, точности изготовления, создание способов и средств проектирования, обработки, контроля колодок и деталей обуви // Автореф. Дисс.д.т.н., Л., ЛИТЛП, 1977
6. Пат. на корисну модель № 126495 України. МПК (2006) C02F 1/00. Вібраційна машина для знезараження водних середовищ / А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк ; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № у 2018 10090 ; заяв. 02.01.2018 ; опубл. 25.08.2018, Бюл. № 12. – 6 с.

7. Географія : словник-довідник / [авт.-уклад. Ципін В. Л.]. – Х. : Халімон, 2006. – 175 с.
8. Вибрации в технике : справочник : [в 6 т. Т. 3] / ред. В.Н. Челомей (пред.). – Москва : Машиностроение, 1980. – 544 с.
9. Goroshko A. Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice / A. Goroshko, V. Royzman, M. Zembytska // System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies on the Example of Drum Type Washing Machines. – 2018. – Volume 2, August. – P. 26–60. – ISBN 978-609-96036-0-5.
10. Уткин В. Л. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов и для ин-тов физ. культуры по спец. № 2114 «Физ. воспитание». — М.: Просвещение, 1989.— 210 с.
11. Горбачик В. Е. Основы анатомии, физиологии, антропометрии и биомеханики : учебное пособие / В. Е. Горбачик. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – 125 с.

#### References

1. Behniak V. I. Osnovy konstruiuvannya i proektuvannya vyrobiv iz shkiry: Navch. posibnyk. – Khmelnytskyi, 2002. – 260 s.
2. Lyba V.P. Teoriya y praktyka proektirovannya komfortnoi obuvy: dys. doktora tekhn. nauk: 05.19.06 / Lyba Vladymyr Petrovych. – М., 1996. – 314.
3. Fukyn V.A. O komplekse svoistv, opredeliaiushchykh komfortnost obuvy / V.A. Fukyn, D.O. Sakkulyna, V.V. Kostyleva // Kozhev. – obuv. Prom-st – 1994, № 1–2. – S. 37– 38.
4. Aleksandrov S.P. Avtomaticheskoe profilyrovanye poverkhnosti stelechnoho uzla / S.P. Aleksandrov, O.V. Parshyna // Kozhev. – obuv. Prom-st. – 1998. – № 8. – S. 12– 16.
5. Zamarashkyn N.V. Yssledovanye zakonomernosti formoobrazovanya, tochnosti yzghotovleniya, sozdanye sposobov y sredstv proektirovanya, obrabotky, kontrolia kolodok y detalei obuvy // Avtoref. Dyss.d.t.n., L., LYTLP, 1977
6. Pat. na korysnu model № 126495 Ukrainy. MPK (2006) S02F 1/00. Vibratsiina mashyna dlia znezarazhuvannya vodnykh seredovyshch / A.I. Hordieiev, N.O. Kostiuk ; zaiavnyk i patentovlasnyk Khmelnytskyi natsionalnyi universytet. – № u 2018 10090 ; zaiav. 02.01.2018 ; opubl. 25.08.2018, Biul. № 12. – 6 s.
7. Neohrafiia : slovnyk-dovidnyk / [avt.-uklad. Tsypin V. L.]. – Kh. : Khalimon, 2006. – 175 s.
8. Vybratsyy v tekhnike : spravochnyk : [v 6 t. Т. 3] / red. V.N. Chelomei (pred.). – Moskva : Mashynostroenye, 1980. – 544 s.
9. Goroshko A. Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice / A. Goroshko, V. Royzman, M. Zembytska // System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies on the Example of Drum Type Washing Machines. – 2018. – Volume 2, August. – P. 26–60. – ISBN 978-609-96036-0-5.
10. Уткин В. Л. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов и для ин-тов физ. культуры по спец. № 2114 «Физ. воспитание». — М.: Просвещение, 1989.— 210 с.
11. Горбачик В. Е. Основы анатомии, физиологии, антропометрии и биомеханики : учебное пособие / В. Е. Горбачик. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – 125 с.

Рецензія/Peer review : 12.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

## ДО РОЗРАХУНКУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ ДЛЯ ПОВІЛЬНОГО ФІЛЬТРУВАННЯ ЧЕРЕЗ ШАР СОРБЕНТУ

Подано результати досліджень впливу використання фільтрувального шару сорбенту на допустимі швидкості фільтрування. В статті показано модель фільтрування для паралелепіпеда з в умовах. Виявлено, що внаслідок збільшення швидкості сорбції досягаються найбільш якісний хімічний склад водопровідної води та зменшення шкідливих домішок. За допомогою математичного моделювання обчислено швидкість фільтрування. Використовуючи рівняння для отримання диференціального рівняння руху рідини в потоці, що рухається по каналу (пора фільтру), плоский елементарний паралелепіпед і розглядають його одновимірний рух з початковими і граничними умовами, визначено середню швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда. Використовуючи другий закон механіки для одновимірного руху, отримано критеріальне рівняння для різних форм частинок сорбенту. Приведена математична модель фільтрувального процесу досліджувалась з застосуванням методу кінцевих різниць та програмного забезпечення ANSYS. Показано, що швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда, та вздовж його осі. Отримано, чим більша швидкість фільтрування, тим темніша штриховка області. З допомогою програм ANSYS отримані графічні результати розподілу діапазону фільтрування та швидкості фільтрування через шар сорбенту, що підтверджують математичні обчислення. Для детального аналізу фільтрування через плоску поверхню у вигляді паралелепіпеда, так і для тонкостінних втулок використано процедури числового моделювання Steady-State Filter, метод скінченних елементів та кінцевих різниць в програмному забезпеченні ANSYS. Отриманий розв'язок швидкості методом та альтернативний розв'язок з допомогою пакету ANSYS дає можливість порівняти збіжність обчислень. Застосування чисельних та аналітичних методів надає можливість комплексно проаналізувати технологічні та фізико-хімічні процеси.

Ключові слова: фільтрування, моделювання, швидкість фільтрування, метод кінцевих різниць, метод скінченних елементів, ANSYS.

## TO CALCULATE AND MODELING FILTRATION SPEED FOR SLOW FILTERING ON THE SORBENT LAYER

*Abstract. It was presented the results of researches of influence of use of a filtering layer of sorbent on admissible filtration speeds are. It was investigated a filtering model for a parallelepiped with in conditions. It was found that due to the increase in the sorption rate, the highest quality chemical composition of tap water and the reduction of harmful impurities are achieved. It was calculated the filtration rate with the help of mathematical modeling. It was determined the average filtration rate along the parallelepiped using the equation to obtain the differential equation of motion of the fluid in the flow moving through the channel (filter time), a flat elementary parallelepiped and consider its one-dimensional motion with initial and boundary conditions. It was obtained the criterion equation for different forms of sorbent particles using the second law of mechanics for one-dimensional motion. It was received and investigated mathematical model of the filtering process with using the finite difference method and ANSYS software. It was shown that the filtering speed along the parallelepiped and along its axis. It was obtained, the higher the filtering speed, the darker the hatching area. It was obtained graphical results of the distribution of the filtration range and filtration rate through the sorbent layer, which confirm the mathematical calculations using ANSYS programs: Steady-State Filter numerical simulation procedures, finite element method, and finite differences in ANSYS software. It were used for detailed analysis of flat-surface filtering in the form of a parallelepiped and for thin-walled bushings. It was obtained speed solution by the method and the alternative solution using the ANSYS package make it possible to compare the convergence of calculations. The use of numerical and analytical methods provides an opportunity to complex analyze technological and physicochemical processes.*

*Key words: filtering, simulation, filtering speed, finite difference method, finite element method, ANSYS.*

**Аналіз останніх джерел.** Сорбційні технології використовуються в водопідготовці для освітлення води та поліпшення її органолептичних якостей шляхом видалення розчинених органічних речовин та газів. В технології очищення води активоване вугілля та інші сорбенти застосовуються для зниження кольоровості та запахів води [1,2]. Ці процеси дозволяють використовувати його в цукровій, харчовій та спиртовій промисловості, в складних хімічних виробництвах [1,4]. Процес фільтрування дуже поширений в харчовій промисловості [1-5]. По цільовому призначенню процес фільтрування може бути очисним або продуктовим.

**Постановка проблеми та мета роботи.** Запропоновано математичну модель процесу фільтрування на стрічкових фільтра та досліджено процес фільтрування з допомогою математичного моделювання, 3D моделювання кінцевих різниць при оптимальній швидкості фільтрування через шар сорбенту.

**Виклад основного матеріалу.**

**Матеріали та методи.** Для покращення якості води та для порівняння концентрацій міді застосовували фільтрування. Етапи підготовки води включає: попереднє фільтрування через тонкі сита або сітки з метою видалення грубих механічних домішок та власне фільтрування. Наночастинки активованого вугілля отримували механічним способом. Макроскопічні або мікроскопічні частинки активованого вугілля засипали у млинок із твердими кульками й сточували до найменш можливих розмірів. Отриманий порошок фільтрували, відбираючи з нього мікрочастинки та насипали на фільтрувальний папір. Перед подачею води у трубопровід воду обробляли реагентами. Вода після таких етапів очищення є прозорою, без кольору, присмаку і безпечна для споживання. Для досліджень концентрації мікрокількості міді



використовували лабораторний фотоколориметр або ж спектрофотометр, ділильні лінійки та мірні циліндри і колби [4-7].

**Результати та їх обговорення.** Для повільного фільтрування дозволяють повільний розподіл фільтрату (рис.1). Середній час завантаження фільтрувального шару - 0,25-0,5 м, швидкість фільтрування - 0.3-0.4 м/год. На практиці час фільтрування, як правило, визначається необхідністю отримання заданої товщини шару осаду: для фільтрів з плоскою горизонтальною перегородкою - 50-250 мм, - для фільтрів - 10-40 мм.

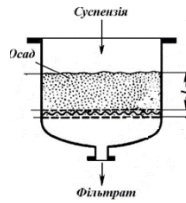


Рис.1 Схема повільного фільтра

Швидкість фільтрування можна розрахувати через константи фільтрування:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{K}{2(V+C)}, \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с} \quad (1)$$

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu \cdot c \cdot r} \quad (2)$$

$C$  - константа фільтрування, яка характеризує гідравлічний опір фільтрувальної перегородки ( $\text{м}^3/\text{м}^2$ ),  $K$  - константа фільтрування, яка враховує режим процесу і фізико-хімічні властивості осаду і рідини ( $\text{м}^2/\text{с}$ ),  $V$  - об'єм фільтру, отриманий з одного  $\text{м}^2$  поверхні фільтру за час  $\tau$ .

Час, потрібний для утворення осаду товщиною  $l$  (час фільтрування), визначають за (рис.1.) і (4.18).

Час, потрібний для проведення допоміжних операцій, визначають за виробничими даними.  $\tau_{\text{зар.}} = \tau + \tau_{\text{д.}}$

Кількість фільтрату  $V$ , що утворився за цей час, визначають з (1), а середня продуктивність фільтру дорівнює [7,8].

$$V_{\tau \text{ сеп}} = \frac{V_{\text{та}}}{Fl} \quad (3)$$

За заданою продуктивністю фільтрувального агрегату  $V_{\text{та}}$  знаходять по таблицях (нормалях) фільтрувальну поверхню одного фільтру і товщину шару осаду. Далі розраховують кількість циклів фільтрування, котрі треба здійснити [7,8].:

$$a = \frac{V_{\text{та}} x}{Fl} \quad (4)$$

Для отримання диференціального рівняння руху рідини виділяють в потоці рідини, що рухається по каналу (пора фільтру), плоский елементарний паралелепіпед і розглядають його одновимірний рух. На паралелепіпед діють сили [7,8].:

1) тяжіння

$$G_{\tau} = g \, dx \, dy \, dz \quad (5)$$

2) тиску:

$$G_{\text{тис}} = -\frac{\partial p}{\partial x} \, dx \, dy \, dz \quad (6)$$

1) тертя:

$$T = \mu \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} \, dx \, dy \, dz \quad (7)$$

Використовуємо другий закон механіки для одновимірного руху та рівняння Нав'є - Стокса для виведення рівняння фільтрування [7,8]:

$$\rho g - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} = \rho \frac{\partial \omega_x}{\partial \tau} \quad (8)$$

З (9) отримуємо критеріальне рівняння фільтрування. Для цього (9) ділимо на праву частину.

$$\frac{\rho g \partial \tau}{\rho \partial \omega_x} - \frac{\partial p \partial \tau}{\partial x \rho \partial \omega_x} + \frac{\mu \partial \tau \partial^2 \omega_x}{\rho \partial \omega_x \partial y^2} = 1 \quad (9)$$

1                      2                      3

1 складова:

$$\frac{g \partial \tau}{\partial \omega_x} \rightarrow \frac{g \tau}{\omega} \cdot \frac{l}{l} \rightarrow \frac{gl}{\omega^2} = Fr \quad (10)$$

$Fr$  - критерій Фруда; характеризує відношення сил тяжіння до сил інерції.

2 складова:

$$\frac{\partial p \partial \tau}{\partial x \rho \partial \omega_x} \rightarrow \frac{p \tau}{l \rho \omega} \rightarrow \frac{p}{\rho \omega^2} = Eu \quad (11)$$

$Eu$  - критерій Ейлера; характеризує відношення сил тиску до сил інерції.

3 складова

$$\frac{\mu d \tau \partial^2 \omega_x}{\rho \partial \omega_x \partial y^2} \rightarrow \frac{\mu \tau \omega}{\rho \omega l} \rightarrow \frac{\mu}{\rho \omega l} = \frac{1}{Re} \quad (12)$$

В критеріальне рівняння фільтрування  $Fr$  не вводять, оскільки при фільтруванні сили тяжіння малі у порівнянні з силами тиску і тертя, але вводять параметричний критерій  $l/d_e$ , який характеризує геометричні особливості системи [7,8].

Критеріальне рівняння:

$$Eu = C Re^n \left( \frac{l}{d_e} \right)^m \quad (13)$$

Для сферичної форми сорбенту

$$d_e = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} d_3 \quad (14)$$

Для неправильної форми сорбенту

$$d_e = \Phi \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} d_3 \quad (15)$$

$\Phi$  – коефіцієнт форми.

Приведена математична модель фільтрувального процесу досліджувалась з застосуванням методу кінцевих різниць та програмного забезпечення ANSYS. Показано, що швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда, та вздовж його осі. Отримано, чим більша швидкість фільтрування, тим темніша штриховка області. З допомогою програм ANSYS отримані графічні результати розподілу діапазону фільтрування та швидкості фільтрування через шар сорбенту, що підтверджують математичні обчислення. Для детального аналізу фільтрування через плоску поверхню у вигляді паралелепіпеда, так і для тонкостінних втулок використано процедури числового моделювання Steady-State Filter, метод скінченних елементів та кінцевих різниць. Отриманий розв'язок швидкості математичним методом та альтернативний розв'язок з допомогою пакету ANSYS дає можливість порівняти збіжність обчислень. (рис.2).

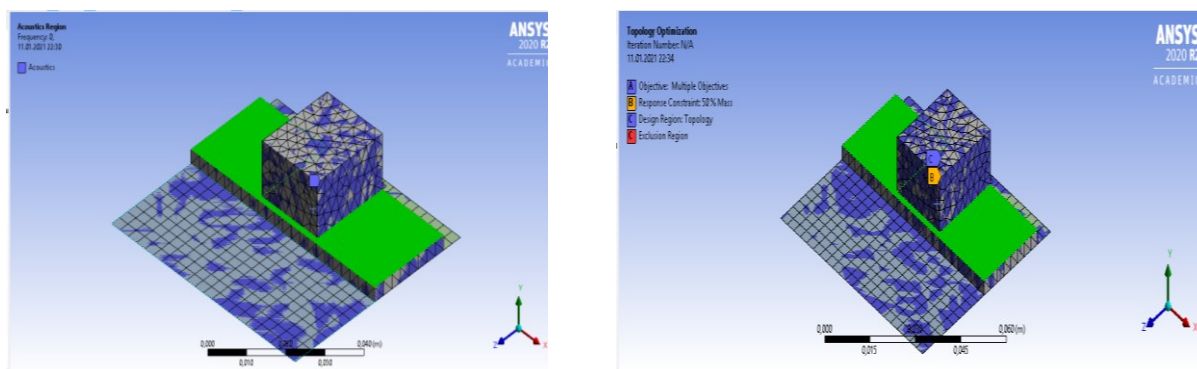


Рис.2. Математична модель фільтрування з допомогою пакету ANSYS

### Висновки

В статті показано модель фільтрування для паралелепіпеда з в умовах повільного фільтрування. Використовуючи рівняння для отримання диференціального рівняння руху рідини, що рухається через канал (пора фільтру), плоский елементарний паралелепіпед і розглядають його одновимірний рух з початковими і граничними умовами, при цьому визначено середню швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда. Використавши другий закон механіки для одновимірного руху, отримано критеріальне рівняння фільтрування для різних форм частинок сорбенту. Приведена математична модель фільтрувального процесу досліджувалась з застосуванням методу кінцевих різниць та програмного забезпечення ANSYS. Показано, що швидкість фільтрування вздовж осі паралелепіпеда змінюється, при чому, чим більша швидкість фільтрування, тим темніша штриховка області.

### Література

1. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води – К.: Вища школа, 2005. – 67 с.
2. Кульський Л.А., Гороновський І.Т., Когановський А.М., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. – К.: Наук. думка, 1980. – Ч. 1, 2. – 1206 с.

3. Жужиков В.А. Фильтрование. – М.:Химия, 1968. – 412с.
4. Айнс Э. Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Айнс Э. Л. – Харьков : Гос. научно-тех. изд-во Украины, 1939. – 718 с.
5. Бомба А. Я. Математичне моделювання процесу фільтрування та регенерації фільтру /А. Я. Бомба, В. М. Сівак, А. П. Сафоник // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : Зб. наук. пр. – Вип. 2 (42). – Рівне : НУВГП. – 2008. – С. 263–268.
6. Венецианов Е. В. Математическое описание фильтрационного осветления суспензий / Венецианов Е. В., Сенявин М. М. // Теорет. основы хим. технологии – 1976 – № 4. – С. 584–591
7. Горелкин В. Н. Вычисление силы взаимодействия макроскопических тел, разделенных тонкой пленкой электролита / Горелкин В. Н., Смилга В. П. // Коллоид. журн. – 1972. – Т. 34, № 5. – С. 685–695.
8. Грабовский П. А. Математическая модель регенерации скорых фильтров / Грабовский П. А. // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 11, № 4. – С. 296–300.

#### References

1. Zapolsky A.K. Water supply, drainage and water quality. – Kiev: Higher School, 2005 – 67 p.
2. Kulsky L.A., Goronovsky I.T., Koganovsky A.M., Shevchenko M.A. Handbook of properties, methods of analysis and water purification. - Kiev: scientific opinion, 1980. – Part 1, 2. – 1206 p.
3. Zhuzhikov V.A. Filtering. – Moscow: Chemistry, 1968. – 412с.
4. Ains E. L. Ordinary differential equations / Ains E. L. – Kharkiv: State scientific and technical publishing house of Ukraine, 1939. – 718 p.
5. Bomba A.Y. Mathematical modeling of the filtration process and filter regeneration / A. J. Bomba, V.M. Sivak, A.P. Safonyk // Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Sciences: Coll. Science. etc. – N. 2 (42). – Rivne: National University Vodnogo Gospodarstva - 2008. - P. 263–268.
6. Venetsianov E.V. Mathematical description of filtration clarification of suspensions / Venetsianov E.V., Senyavin M.M. // Theoretical basics of chemistry technologies. – 1976 – № 4. - P. 584–591
7. Gorelkin V.N. Calculation of the force of interaction of macroscopic bodies separated by a thin film of electrolyte / Gorelkin V.N., Smilga V.P. // Colloid magazine. – 1972. – V. 34, № 5. - P. 685–695.
8. Grabovsky P.A. Mathematical model of regeneration of fast filters / Grabovsky P.A. // Chemistry and technology of water. – 1989. – N. 11, № 4. – P. 296–300.

Рецензія/Peer review : 21.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

О.В. ПАХОЛЮК

Луцький національний технічний університет

Г.О. ПУШКАР, І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК

Львівський національний торговельно-економічний університет

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЙ ТА КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ НАНОПРОДУКЦІЇ В СВІТІ ТА УКРАЇНІ

*В даній роботі розглянуто сучасні тенденції розвитку нанотехнологій та ринку нанопродукції у світі та Україні в XXI столітті. Як свідчить аналіз наведених літературних джерел [1-17], названі галузі тісно пов'язані між собою і проблеми їх розвитку потрібно розглядати комплексно. Як відомо в економіці багатьох країн світу розвиток нанотехнологій і ринку нанопродукції розглядаються як ключовий інструмент розвитку конкурентоспроможності у багатьох галузях розвитку їх промисловості.*

*Ключові слова: нанотекстиль, нанопродукція, ринок, конкурентоспроможність, інновації.*

E.V. PAKHOLIUK

Luts'k National Technical University

G.O. PUSHKAR, I.S. GALYK, B.D. SEMAK

Lviv Trade and Economical University

## MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF NANOTECHNOLOGIES AND COMMERCIALIZATION OF NANO-PRODUCTS IN THE WORLD AND UKRAINE

*This paper examines current trends in the development of nanotechnology and the market of nanoproducts in the world and Ukraine in the XXI century. According to the analysis of the cited literature sources [1-17], these industries are closely related and the problems of their development should be considered comprehensively. As is known in the economies of many countries, the development of nanotechnology and the market for nanoproducts are seen as a key tool for developing competitiveness in many areas of their industry. Judging by the analysis of literature sources, the most significant achievements in the development of nanotechnology and the market of nanoproducts in recent decades are observed in institutes and universities of the NAS of Ukraine in the framework of individual government programs.*

*The aim of the work is to identify and substantiate the priority areas of nanotechnology development in Ukraine, which guaranteed the successful development of nanoproducts obtained using these nanotechnologies, as well as to substantiate the priority areas of nanoproduct commercialization in Ukraine. It should be noted that a significant number of publications (monographs, scientific articles, reports at scientific conferences), as well as educational, methodological and normative publications are devoted to the problems of formation and development of the market of nanotechnologies and nanoproducts in Ukraine and the world. In order to identify priority areas for the development of nanotechnology and the market of nanoproducts in Ukraine, a brief summary of the literature selected for analysis.*

*On the basis of the analysis of literature sources the expediency of complex consideration of application of separate nanotechnologies in various branches of economy and science and commercialization of the types of nanoproducts received on their basis is revealed and substantiated.*

*The possibility and expediency of creating a separate segment of the market of nanoproducts for different purposes in Ukraine has been studied. For this purpose, the main tasks of creation and successful functioning of a separate segment of the nanoproducts market in Ukraine are outlined.*

*The list of factors which allow to substantiate expediency of formation and successful functioning of this market segment is resulted.*

*Key words: nanotextiles, nanoproducts, market, competitiveness, innovations.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді

Аналізуючи проблеми розвитку нанотехнологій і ринку нанопродукції в Україні, вважаємо за доцільне:

- виявити та узагальнити невирішені завдання у галузі використання нанотехнологій у різних галузях промисловості України та комерціалізації їх нанопродукції;
- особливу увагу приділити подальшому вдосконаленню методик тестування новизни та оригінальності нових видів нанопродукції та поповнення нею сучасного товарного ринку;
- з метою обґрунтування пріоритетних напрямків розвитку нанотехнологій та ринку нанопродукції представляється доцільним збільшити обсяги нанопродукції із заданими властивостями;
- оправдано збільшити обсяги виробництва та розширити асортимент одягового нанотекстилю із антимікробною обробкою нанопрепаратами із заданою стійкістю;
- постійної державної підтримки та суттєвого вдосконалення вимагає кадрове забезпечення розвитку нанотехнологій і ринку нанопродукції в Україні.

Судячи з аналізу літературних джерел [1-6], найбільш вагомі досягнення у галузі розвитку нанотехнологій та ринку нанопродукції в останні десятиріччя спостерігаються в інститутах та університетах НАН України в рамках окремих державних програм.

З метою оцінки обсягів виробництва нанопродукції у світі та попиту на цю продукцію на світовому ринку у таблиці для прикладу наведена інформація за 2016 рік [4].

Метою роботи є виявлення та обґрунтування пріоритетних напрямків розвитку нанотехнологій в

Україні, які гарантували успішний розвиток нанопродукції, отриманої при використанні цих нанотехнологій а також обґрунтування пріоритетних напрямків розвитку системи комерціалізації нанопродукції в Україні.

Таблиця

**Характеристика обсягів виробництва і збуту нанопродукції у світі**

№ п/п	Назва нанопродукції	Обсяг виробництва, %	Попит на ринку, %
1	Текстильна промисловість	12	7
2	Спорт	5	6
3	Нафтова промисловість	7	3
4	Медицина	7	6
5	Побутова техніка	6	3
6	Харчування	8	5
7	Довкілля	12	8
8	Електроніка	6	30
9	Косметика	9	10
10	Будівництво	12	11
11	Автомобільна промисловість	10	8
12	Сільське господарство	6	3
Всього		100	100

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Необхідно відзначити, що проблемам формування та розвитку ринку нанотехнологій та нанопродукції в Україні та світі присвячена значна кількість публікацій (монографій, наукових статей, доповідей на наукових конференціях), а також видань навчального, методичного та нормативного характеру. З метою виявлення пріоритетних напрямків розвитку нанотехнологій і ринку нанопродукції в Україні вважаємо за доцільне дати коротку анотацію обраної для аналізу літератури [1-10].

Авторами роботи [1] сформульовані та обґрунтовані основні напрямки розвитку нанотехнологій та комерціалізації нанопродукції на їх основі в Україні. При цьому дано детальний аналіз джерел, враховано зарубіжний досвід розвитку названих галузей в останні роки. В роботі наведено аналіз досвіду державного регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу. Оцінено стану розвитку нанотехнологій в Україні, обґрунтовано необхідність розробки теоретичних положень і методичних підходів щодо обґрунтування організаційно-економічного механізму забезпечення науково-технічних досліджень і комерціалізації нанотехнологій в країні та реформування на цій основі її економіки.

Автором роботи [2] сформульовані напрямки державної політики щодо підтримки розвитку нанотехнологій в Україні із врахуванням темпів цього розвитку у зарубіжних країнах (особливо у західній Європі). Авторами наведено перелік конкретних видів вітчизняної нанопродукції, отриманої окремими інститутами НАН України за 2012 рік. Авторами запропоновано розроблення Національної стратегії розвитку наноіндустрії та нанотехнологій України та нової Державної науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2015-2025 роки. Автори вважають що для нанотехнологій потрібні розлогі науки знання, а тому держава повинна постійно зміцнювати національну базу наукових знань у сфері нанотехнологій, підвищуючи їх значення для бізнесу та суспільства.

Автори роботи [3] розглянуто програми напрямків досліджень у галузі розвитку нанотехнологій в Україні до 2020 року. Розглянуто також розвиток нанотехнологій у світі. Основна увага приділена інформації про існуючі проблеми в цій галузі.

Авторами роботи [4] наведені дані про обсяги виробництва окремих видів нанопродукції. Наведено аналіз основних видів нанопродукції, отриманої за різними нанотехнологіями у 2016 році в світі та Україні. Розглянуто особливості розвитку ринку нанопродукції в Україні за вказаний період. Розкрита роль маркетингового аудиту у формуванні названого ринку.

Авторами роботи [5] дано аналіз сучасних тенденцій розвитку нанотехнологій в Україні та світі. Основна увага приділена розгляду проблемних невіршених питань. Відзначено, що для подальшого просування України на світовому ринку необхідно розробити та впровадити комплексну програму дій, що охоплювало б інвестування та стимулювання науково-дослідної роботи у галузі розвитку найбільш перспективних нанотехнологій. Підкреслюється, що найважливішими засадами щодо розвитку вітчизняного сектору нанотехнологій має стати міжнародне науково-технологічне співробітництво. Це дозволить Україні суттєво підвищити свій статус у розвитку нанотехнологій.

Автором роботи [6] розглянуто основні тенденції розвитку світового ринку нанотехнологій та нанопродукції. Розглянуто напрямки подальшого вдосконалення даного ринку. Обґрунтовано проблеми фінансування розвитку нанотехнологій і ринку нанопродукції в Україні. Наведено порівняльну характеристику вітчизняного і світового ринку нанопродукції.

Автором роботи [7] розглянуто основні напрямки нанотехнологічного бізнесу. Основна увага приділена розгляду теоретичних проблем даного ринку.

Обґрунтовано пріоритетні напрями розвитку ринку нанопродукції в Україні.

Автором роботи [8] розкривається роль наноресурсів у розвитку суспільства. Основна увага приділена постановці невирішених проблемних питань.

Автором роботи [9] на прикладі нанотекстилю вивчена можливість і доцільність створення текстильної нанопродукції із заданими властивостями. Основна увага приділена нанопродукції одягового, медичного та спеціального призначення. Розглянуто можливості впровадження сучасних технологій у дослідження та виробництво товарів легкої промисловості та перспективні напрямки розвитку інновацій швейної промисловості. Визначено перспективні напрямки розвитку інновацій: нанотехнології, біо- та фото-інформатика, технології інформаційної підтримки процесів життєвого циклу товарів. Наведено характеристику асортименту текстильних нановиробів з захисними функціями.

Авторами роботи [10] дано аналіз теоретичних проблем розвитку нанотехнологій і нанопродукції у світі та Україні. Розглянуто основні чинники, які впливають на розвиток нанотехнологій в Україні та світі. Обґрунтована потреба державної підтримки розвитку нанонауки і нанотехнологій в Україні. Розглядається перспектива подальшого розвитку нанотехнологій в Україні.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

З метою виявлення та обґрунтування пріоритетних напрямків розвитку комерціалізації в Україні представляється доцільним в даній роботі підняти проблемні завдання [11,12]:

- розкриття основних аспектів розвитку нанонауки, нанотехнологій і ринку нанопродукції в Україні та світі у XX та XXI столітті, акцентуючи основну увагу на розвиток нанотехнологій і ринку нанопродукції в університетах НАН України та Міністерства освіти і науки України;
- використання в Україні зарубіжного досвіду розвитку нанотехнологій та ринку нанопродукції;
- вивчення сучасних тенденцій розвитку нанотехнологій і ринку нанопродукції різного цільового призначення в Україні та світі;
- використання нанотехнологій для виробництва нанотекстилю із заданими властивостями;
- для успішного розвитку вітчизняного сегменту ринку нанотекстилю доведена можливість використання досягнень вітчизняного ринку технічної рослинної текстильної сировини, а також внутрішнього вітчизняного ринку;
- особливості формування асортименту, властивостей, рівня якості та безпечності нанотекстилю одягового, медичного, військового, інтелектуального та спеціального призначення на товарному ринку України;
- інформаційне та кадрове забезпечення розвитку товарного ринку нанотекстилю в Україні.

Як свідчить наведена інформація, проблемам розвитку ринку нанотехнологій і нанопродукції присвячена значна кількість робіт, включаючи і дослідження асортименту та властивостей текстильної нанопродукції різного цільового призначення.

Окрім виконання цих завдань, створення та успішного функціонування окремого сегменту ринку нанопродукції в Україні, на наш погляд, вимагає безвідкладного вирішення наступних завдань [13-15]:

- постійного вдосконалення та стандартизації методики тестування окремих видів нанопродукції різного цільового призначення щодо можливості їх вважати новим видом товарів на даному ринку;
- постійне вдосконалення науково-обґрунтованої класифікації видового асортименту нанопродукції та її відповідної стандартизації;
- інформаційне забезпечення роботи ринку нанопродукції, яке включає і всестороннє вивчення попиту на основні види нанопродукції і оцінку обсягів реалізації окремих видів нанопродукції на даному ринку і обов'язкову організацію системи державної та галузевої статистичної звітності про обсяги виробництва чи імпорту окремих видів нанопродукції;
- інформацію про рівень якості та безпечності окремих видів нанопродукції, а також її унікальності та особливості маркування;
- інформаційне забезпечення ринку нанопродукції тісно пов'язано із стандартизацією основних процесів на даному ринку [16];
- детального вивчення потребують особливості кон'юнктури ринку різних за призначенням груп нанопродукції;
- потребує детального вивчення та узагальнення зарубіжного досвіду використання різноманітних нанотехнологій та комерціалізації отриманої на їх основі нанопродукції [1-7];
- дослідження перспектив розвитку вітчизняного сегменту ринку нанопродукції, отриманих на основі використання найбільш перспективних нанотехнологій.

Як свідчить зарубіжний досвід, розвиток текстильних нанотехнологій і окремого сегменту ринку нанотекстилю в Україні сприятиме:

- прискоренню темпів розвитку окремих підгалузей текстильної і легкої промисловості в Україні (особливо швейної і трикотажної);
- створенню принципово нових видів текстильної нанопродукції (інтелектуальний текстиль, медичний нанотекстиль, військовий нанотекстиль, інтер'єрний нанотекстиль, нові види спецодягу різного цільового призначення);
- розширенню асортименту та збільшенню обсягів експорту текстильної нанопродукції;
- пошуку шляхів більш ефективного використання потенціалу вузівської науки (особливо в університетах сфери легкої промисловості та торгівлі України) для розвитку текстильних нанотехнологій і

ринку текстильної нанопродукції.

Окрім перерахованих чинників, ключову роль у створенні та функціонуванні вітчизняного ринку нанопродукції, як свідчить зарубіжний досвід, відіграє кадрове забезпечення даного ринку [16,17].

На нашу думку, стосовно кадрового забезпечення ринку нанопродукції України представляється доцільним [13,14,18]:

- забезпечити підготовку фахівців для потреб різноманітних нанотехнологій і ринку нанопродукції у галузевих університетах України, які підпорядковані Міністерству освіти і науки України;
- затвердити перелік відповідних спеціальностей і спеціалізацій, їх навчальні плани та програми, перелік відповідних освітніх стандартів із обов'язковим включенням в дані стандарти переліку ключових фахових компетентностей для фахівців названих спеціальностей та спеціалізацій.

Окрім підготовки необхідної нормативної документації науковцями названих університетів повинні бути підготовлені та видані необхідні нові підручники з різноманітних нанотехнологій, товарознавства та матеріалознавства нанопродукції різного цільового призначення.

#### Висновки

На основі аналізу літературних джерел виявлено та обґрунтовано доцільність комплексного розгляду застосування окремих нанотехнологій у різних галузях економіки і науки та комерціалізації отриманих на їх основі видів нанопродукції.

Вивчена можливість і доцільність створення в Україні окремого сегменту ринку нанопродукції різного цільового призначення. Для цього, окреслено основні завдання створення та успішного функціонування окремого сегменту ринку нанопродукції в Україні.

Наведено перелік чинників, які дозволяють обґрунтувати доцільність формування та успішного функціонування даного сегменту ринку.

#### Література

1. Кизим М. О., Матюшенко І. Ю. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економіках країн світу та України : монографія / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко, Харків : ВД «ІНЖЕК», 2011. – 392 с.
2. Саліхова О. Б. Державна політика у сфері нанонауки та нанотехнологій в Україні з урахуванням орієнтирів ЄС / О. Б. Саліхова // Економіка і прогнозування. – 2014. – № 3. – С. 121-136.
3. Моїсеєнко Ю. М. Державна підтримка та стимулювання нанотехнологій в Україні [Електронний ресурс] / Ю. М. Моїсеєнко // Ефективна економіка. – 2014. – № 6. – Режим доступу до журналу: <http://www.economy.nayka.com.ua>.
4. Фесенко О. М. Проблеми та перспективи розвитку нанотехнологій в Україні та світі / О. М. Фесенко, С. В. Ковальчук, Р. А. Нищик // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2017. – № 1. – С. 170-179.
5. Черницька Т. В. Сучасні тенденції розвитку світового ринку нанотехнологій у глобальному середовищі / Т. В. Черницька // Вісник Чернігівського державного технічного університету. – 2013. – №1(64). – С. 154-158.
6. Бутко Б. О. Тенденції розвитку світового ринку нанотехнологій та нанопродукції / Б. О. Бутко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Економіка і управління. – 2019. – Т. 30(69). – № 4(1). – С. 7-12.
7. Глухова Д. А. Розвиток нанотехнологічного бізнесу в Україні / Д. А. Глухова // Економіка та держава. – 2010. – № 12. – С. 58-59.
8. Касьянов Д. Основні наноресурси людства: природа і сутність нанотехнологічного розвитку / Д. Касьянов // Вища освіта України. – 2012. – № 1. – С. 38-41.
9. Куценко Т. В. Використання новітніх технологій у виготовленні текстильних матеріалів із заданими властивостями / Т. В. Куценко // Наукові записки [Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка]. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – 2017. – Вип. 12(2). – С. 179-184.
10. Іванов С. М. Наноіндустрія як умова становлення інноваційного суспільства в Україні / С. М. Іванов, В. В. Карасюк // Право та інновації. – 2015. – № 3. – С. 28-38.
11. Пахолук О.В. Дослідження ефективності біоцидних речовин для оброблення одягових текстильних матеріалів спеціального призначення [текст] / О.В. Пахолук, В.І. Лубенець, І.А. Мартиросян // Товарознавчий вісник : збірник наукових праць Луцького НТУ. – 2018. – Випуск 11. – С.100-108.
12. Віткін Леонід. Стандарти і технічні регламенти для майбутнього України / Леонід Віткін / Міжнародний форум: Роль стандартів та технічних регламентів для забезпечення сталого розвитку економіки України в умовах глобалізації, 9-10 жовтня 2018 року, Ramada Encore КУІВ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.techreg.in.ua/ft/](http://www.techreg.in.ua/ft/).
13. Семак Б. Б. Теоретико-методологічні основи формування вітчизняного сировинного ринку екологічно безпечних товарів текстильної промисловості: монографія / Б. Б. Семак [за ред. д. е. н. професора М. А. Коваленка]. – Херсон : Гринь Д. С., 2011. – 232с.
14. Семак Б. Б. Концептуальні засади формування та перспективи розвитку ринку нанопродукції в Україні / Б. Б. Семак, І. С. Галик, Б. Д. Семак // Сучасні напрями розвитку економіки, підприємництва,

технологій та їх правового забезпечення: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції / [відповід. за вип. : проф. Семак Б. Б.]. – Львів : вид-во Львівського торговельно-економічного університету, 2020. – С. 232-234.

15. Галик І. С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю: монографія / І. С. Галик, Б. Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.

16. Завражна О. М. Нанотехнології: вплив на суспільство, проблеми стандартизації / О. М. Завражна, Є. С. Шевченко // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Серія : Педагогічні науки. – 2015. – Вип. 127. – С. 53-55.

17. Демецька О. В. До проблеми стандартизації наноматеріалів / О. В. Демецька, О. Б. Леоненко, Т. Ю. Ткаченко, Н. С. Леоненко // Сучасні проблеми токсикології. – 2012. – № 3-4. – С. 101-103.

#### References

1. Kuzym M.O. (2011) Matyushenko I.Y. Perspektivy rozvytku i komertsializatsiyi nanotekhnolohiy v ekonomikakh krayin svitu ta Ukrainy [Prospects for the development and commercialization of nanotechnologies in the economies of the world and Ukraine: a monograph] Kharkiv: VD INZHEK, 2011. S. 392.

2. Salikhova O.B. (2014) Derzhavna polityka u sferi nanonauky ta nanotekhnolohiy v Ukrainy z urakhuvanniam oriyentyriv ES [State policy in the field of nanoscience and nanotechnology in Ukraine, taking into account the EU benchmarks] Ekonomika i prohnozuvannya [Economics and Forecasting]. 2014. № 3. S. 121-136.

3. Moiseenko Yu. M. (2014) Derzhavna pidtrymka ta stymulyuvannya nanotekhnolohiy v Ukrainy [Elektronnyy resurs] [State support and stimulation of nanotechnologies in Ukraine] [Electronic resource] [Efektyvna ekonomika] Effective economy. 2014. № 6. Mode of access to the journal: <http://www.economy.nayka.com.ua>.

4. Fesenko O.M. (2017) Problemy ta perspektivy rozvytku nanotekhnolohiy v Ukrainy ta sviti [Problems and prospects of nanotechnology development in Ukraine and the world] Marketynh i menedzhment innovatsiy [Marketing and innovation management]. 2017. № 1. S. 170-179.

5. Chernytska T.V. (2013) Suchasni tendentsiyi rozvytku svitovoho rynku nanotekhnolohiy u hlobal'nomu seredovyshchi [Modern tendencies of development of the world market of nanotechnologies in the global environment] Visnyk Chernihivs'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu [Visnyk of Chernihiv State Technical University]. 2013. №1 (64). S. 154-158.

6. Butko B.O. (2019) Tendentsiyi rozvytku svitovoho rynku nanotekhnolohiy ta nanoproduktsiyi [Tendencies of development of the world market of nanotechnologies and nanoproducts] Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V. I. Vernads'koho. Seriya : Ekonomika i upravlinnya [Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: Economics and Management]. 2019. T. 30 (69). № 4 (1). S. 7-12.

7. Glukhova D.A. Rozvytok nanotekhnolohichnoho biznesu v Ukrainy [Development of nanotechnological business in Ukraine] Ekonomika ta derzhava [Economy and State]. 2010. № 12. S. 58-59.

8. Kasyanov D. Osnovni nanoresursy lyudstva: pryroda i snitnist' nanotekhnolohichnoho rozvytku [Basic nanoresources of mankind: nature and essence of nanotechnological development] Vyshcha osvita Ukrainy [Higher education of Ukraine]. 2012. № 1. S. 38-41.

9. Kutsenko T.V. (2017) Vykorystannya novitnikh tekhnolohiy u vyhotovlenni tekstyl'nykh materialiv iz zadanyimi vlastyvostyamy [The use of new technologies in the manufacture of textile materials with specified properties] Naukovi notes. Series: Problems of methods of physical-mathematical and technological education. 2017. Vip. 12 (2). S. 179-184.

10. Ivanov S.M. (2015) Nanoindustriya yak umova stanovlennya innovatsiynoho suspil'stva v Ukrainy [Nanoindustry as a condition for the formation of innovative society in Ukraine] Pravo ta innovatsiyi [Law and innovation]. - 2015. № 3. S. 28-38.

11. Pakholyuk O.V. Doslidzhennya efektyvnosti biotsydneykh rehovyn dlya obroblyennya odyahovykh tekstyl'nykh materialiv spetsial'noho przyznachennya [Research of efficiency of biocidal substances for processing of clothing textile materials of special purpose] Tovaroznavchyy visnyk : zbirnyk naukovykh prats' Luts'koho NTU [Commodity Bulletin: a collection of scientific works of Lutsk NTU]. 2018. Issue 11. S.100-108.

12. Vitkin Leonid. Standarty i tekhnichni rehlymenty dlya maybutn'oho Ukrainy [Standards and technical regulations for the future of Ukraine] Mizhnarodnyy forum: Rol' standartiv ta tekhnichnykh rehlymentiv dlya zabezpechennya staloho rozvytku ekonomiky Ukrainy v umovakh hlobalizatsiyi [International Forum: The role of standards and technical regulations for sustainable development of Ukraine's economy in the context of globalization] Elektronnyy resurs [Electronic resource]. Access mode: [www.techreg.in.ua/ft/](http://www.techreg.in.ua/ft/).

13. Semak B.B. (2011) Teoretiko-metodologichni osnovy formuvannya vitchyznyanoho sirovynoho rynku ekologichno bezpechnykh tovariv tekstilnoi promyslovosti: monografiia [ed. d.e.n. Professor MA Kovalenko]. Kherson: Grin DS, 2011. 232 S.

14. Semak B.B. Kontseptual'ni zasady formuvannya ta perspektivy rozvytku rynku nanoproduktsiyi v Ukrainy [Conceptual principles of formation and prospects of nanoproduction market development in Ukraine] Suchasni napryamy rozvytku ekonomiky, pidpryyemnytstva, tekhnolohiy ta yikh pravovoho zabezpechennya: materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi [Modern directions of economic development, entrepreneurship, technologies and their legal support: materials of the International scientific-practical conference]. Lviv: Lviv University of Trade and Economics. 2020. S. 232-234.

15. Halyk I.S. Problemy formuvannya ta otsynuyannya ekolohichnoyi bezpechnosti tekstylyu: monohrafiya [Problems of formation and evaluation of ecological safety of textiles]. L'viv : Vydavnytstvo L'vivs'koyi komertsiyanoi akademiyi [Lviv: Lviv Commercial Academy Publishing House]. 2014. - 488 S.

16. Zavrazhna O.M. Nanotekhnolohiyi: vplyv na suspil'stvo, problemy standartyzatsiyi [Nanotechnologies: influence on society, problems of standardization] Visnyk Chernihivs'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu. Seriya : Pedahohichni nauky [Visnyk of Chernihiv National Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences]. 2015. Vip. 127. S. 53-55.

17. Demetska OV Do problemy standartyzatsiyi nanomaterialiv [To the problem of standardization of nanomaterials] Suchasni problemy toksykolohiyi [Modern problems of toxicology]. 2012. № 3-4. S. 101-103.

Рецензія/Peer review : 13.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.



## ОДЕРЖАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЙОГУРТІВ З ЦУКРОЗАМІННИКАМИ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ

*В роботі проведено дослідження можливості використання природних цукрозамінників в складі йогуртів та вивчено вплив пропонованих підсолоджувачів на органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники одержаних кисломолочних продуктів.*

*Ключові слова: йогурт, цукрозамінники, функціональний продукт, мікробіологічні показники, безпеність.*

M.E. RACUK, D.G. SARIBEKOVA  
Kherson National Technical University

### PRODUCTION OF FUNCTIONAL YOGHURTS WITH SUGAR SUBSTITUTES OF NATURAL ORIGIN

*Abstract – The topic of healthy eating has troubled mankind for many years. Nutrition is one of the most important factors in ensuring and improving the health of the population. In recent years, there has been a trend towards the production of functional foods. Of great importance is the development and production of new functional foods that are not only able to eliminate malnutrition, replenish all cells of the body with the necessary substances, but also contribute to good health.*

*Among the huge variety of products of animal and plant origin, the most important in nutritional and biological terms are milk and dairy products, the value of which is determined by the rich and balanced composition of components and high digestibility of all nutrients. Fermented milk products, including yogurts, in dietary and medical nutrition in their functional properties are superior to milk. Due to its high nutritional value and low calorie yogurt - simply indispensable in the diet of everyone. This is not only delicious, but also a very useful product that helps maintain good health and prevents the development of a number of diseases, including cancer. The yogurt market is constantly evolving, increasing consumer interest in enriched and functional yogurts. One of the criteria for selecting raw materials for yogurt enrichment is the ability to expand the range of existing products by increasing the nutritional value, changing organoleptic, consumer characteristics and cheaper compared to analogues, as well as providing therapeutic and prophylactic properties. Functional yogurt can be obtained by adding sugar substitutes to the composition of yogurt instead of sucrose, which will allow the use of such a product for people with diabetes, metabolic disorders and endocrine diseases.*

*The study of the possibility of using natural sugar substitutes in yogurts and studying the effect of the proposed sweeteners on the organoleptic, physicochemical and microbiological parameters of the obtained fermented milk products.*

*Key words: yogurt, sugar substitutes, functional product, microbiological indicators, safety.*

### Постановка проблеми

В останні роки у всьому світі спостерігається стійка тенденція збільшення обсягів виробництва і споживання продуктів функціонального харчування. Бажання виробників поліпшити органолептичні властивості, забезпечити безпеку і рентабельність продуктів призводить до зміни традиційних способів виробництва, раціоналізації складу, вироблення комбінованих молочних продуктів з додаванням немолочних компонентів і застосуванням різних харчових добавок. У зв'язку з цим актуальним завданням в молочній галузі є вдосконалення технологій виробництва та рецептури високоякісних молочних та, зокрема, кисломолочних продуктів [1].

### Аналіз останніх джерел

Асортимент кисломолочних продуктів досить великий і багато з них виробляють в промисловому масштабі. Аналіз останніх публікацій [2-5] свідчить про те, що сьогодні значна частина фундаментальних досліджень присвячена технології таких функціональних молочних продуктів, як йогурти і терміновані йогуртні продукти. Виходячи із сучасних тенденцій розвитку науки про харчування, основними роботами є дослідження, розробка і виробництво продуктів лікувально - профілактичного і спеціального харчування. Отже, вдосконалення технології, асортиментного і рецептурного складу йогуртів є актуальним для сьогоденного стану технології виробництва функціональних, в тому числі пробіотичних продуктів.

### Виклад основного матеріалу

Метою дослідження було одержання функціональних кисломолочних продуктів – йогуртів з додаванням цукрозамінників природного походження. Відсутність в йогуртах сахарози надаватиме можливість вживання їх людьми, страждаючими цукровим діабетом, будь-якими хворобами обміну речовин і ендокринними захворюваннями.

Як відомо, йогурт – представник класу ферментованих (кисломолочних або сквашених) продуктів. Кисломолочні продукти містять необхідні для організму поживні речовини в легкозасвоюваній формі. Ці продукти добре перетравлюються, мають дієтичні і лікувальні властивості. Дієтичні властивості обумовлюються наявністю молочної кислоти, діоксиду вуглецю, спирту, вітамінів групи В, що виробляються деякими бактеріями. Йогурти широко застосовують для профілактики і лікування ряду захворювань, особливо шлунково-кишкового характеру.

Для створення солодкого смаку до складу йогурту можна додавати як цукор, так і найрізноманітніші цукрозамінники. Але для створення продукту, який можна буде вживати специфічним категоріям населення, зокрема, хворим на цукровий діабет, важливим є заміна споживання рафінованих вуглеводів підсолоджувачами, що мають солодкий смак, але не містять калорій і в значно меншій мірі

стимулюють секрецію інсуліну. Крім того, підсолоджувачі доцільно використовувати замість цукру в раціоні осіб, схильних до ожиріння, для обмеження надходження рафінованих вуглеводів.

В роботі досліджено можливість додавання до складу йогурту таких природних цукрозамінників, як ксиліт, еритрит та стевія.

Ксиліт (ксилітол) являє собою білі кристали без запаху, які добре розчинні у воді. Калорійність ксиліту за різними джерелами складає 2,4 ккал/г, що приблизно на 40% менше, ніж калорійність цукру. Ксилітол виявлений в малині, полуниці, березовому соці і фруктах. Смак ксиліту приємний і не відрізняється від цукру. Ксиліт застосовується в чистому вигляді, а також у складі кондитерських виробів (вафлі, цукерки, шоколад і т.д.). Харчові продукти, що містять ксиліт, не пліснявють. Одним з недоліків, що перешкоджають широкому поширенню ксиліту, є його висока ціна (в 10 разів дорожче цукру), що пов'язане з обмеженими джерелами сировини для його виробництва. Також в ряді випадків на початку застосування ксиліту відзначаються диспепсичні явища (здуття живота) і проноси.

Стевія – натуральний підсолоджувач, що одержують з листя рослини стевія, батьківщиною якої є Америка. Місцеві племена використовували його для підсолодження чаю і гірких лікарських засобів. Являє собою білий кристалічний порошок, добре розчинний у воді, має характерний післясмак. Термостабільний і може використовуватися для виготовлення дієтичних і консервованих продуктів.

Екстракт стевії широко використовується в якості підсолоджувача в Японії [6].

Еритрит (еритритол) – новий натуральний підсолоджувач, який не викликає підвищення рівня цукру в крові. Він являє собою добре розчинні у воді кристали без запаху, дуже схожі на цукор. Калорійність еритриту настільки мала, що в більшості країн прийнята рівною нулю. Замінник прекрасно переноситься організмом навіть в дещо більших дозах, ніж звичайний цукор. Останнім часом еритрит можна часто зустріти в комбінації зі стевією, оскільки він здатний покращувати її специфічний смак [7].

В роботі йогурти одержували згідно наступної методики. Молочну основу підігрівали до температури 37 – 38<sup>0</sup>С, далі вносили симбіотичну закваску на культурах біфідо – та лактобактерій у співвідношенні 1:10, підсолоджувачі (цукор або один з наведених вище цукрозамінників), суміш перемішували 5 хвилин і поміщали у термостат для сквашування при температурі 37 – 38<sup>0</sup>С на 8 годин. Сквашену суміш охолоджували до температури 15<sup>0</sup>С протягом 1 години.

Як заквашувальний препарат використовували суху ліофілізовану закваску торгової марки «Vivo» наступного складу: *Streptococcus Thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium Lactis*. Обрана закваска є сумішшю чистих культур, призначених для прямого внесення в молочну суміш, містить у своєму складі класичну болгарську паличку, молочний стрептокок, ацидофільні лактобактерії. Завдяки цьому йогурт має сприятливий вплив на кишечник людини і в цілому на травлення, а також забезпечує оптимальний рівень кислотоутворення, формування текстури та смаку.

В роботі готували йогурт без цукру, з цукром та з додаванням одного з природних цукрозамінників: еритриту, ксиліту та стевії. Концентрацію підсолоджувачів варіювали від 0,1% до 10% (для цукру, ксиліту та еритриту) та від 0,05% до 0,5% (для стевії). Експериментальним методом визначено оптимальні концентрації цукру та підсолоджувачів для досягнення найкращих смакових характеристик продукту, які оцінювали за органолептичними показниками.

Для оцінки органолептичних властивостей йогуртів відбирали проби йогуртів в сухі чисті колби з притертими корками, попередньо нагріті в сушильній шафі та охолоджені до 20<sup>0</sup>С. Запах йогуртів визначали відразу після відкриття колб. Потім зразки йогуртів наливали у чисті сухі склянки і оцінювали смак.

За органолептичними показниками йогурт класичний без наповнювача повинен відповідати таким вимогам:

- смак і запах – чистий, кисло-молочний, без сторонніх присмаків і запахів;

- консистенція та зовнішній вигляд – однорідна, ніжна, з порушеним або непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення;

- колір – від білого до світло-жовтого, однорідний за всією масою.

Результати досліджень органолептичних показників одержаних йогуртів представлені в табл. 1.

Аналіз отриманих даних свідчить, що органолептичні показники одержаних йогуртів знаходяться в межах встановлених нормативних документів.

Щодо додавання підсолоджувачів слід відмітити, що для одержання оптимальних показників солодкості йогурту еритритол та ксилітол додавали у кількості, яка вдвічі менша, ніж кількість цукру. А стевію потрібно додати в 100 разів менше, ніж цукор. Хоча йогурти із додаванням стевії в пропонувані концентраціях мають легкий трав'яний присмак.

Для характеристики якості одержаних йогуртів необхідно оцінити їх фізико-хімічні характеристики, до яких належать насамперед кислотність (активна та титрована), вміст сухих речовин та масова частка жиру. Ці показники залежать як від якості сировини, так і від внесених добавок.

Молочнокислі бактерії мають здатність ферментувати лактозу в молочну кислоту, що призводить до збільшення титруємої кислотності і зниження активної кислотності. Кислотність звичайного йогурту варіюється в межах 4,0 – 4,8 рН. На кислотність йогурту впливають такі фактори:

1. Які бактерії брали участь в заквашуванні.
2. Яке використовувалося молоко.
3. Скільки за часом тривало заквашування.
4. Чи додавалися до йогурту інші продукти.

Таблиця 1

## Органолептична оцінка йогуртів

Зразки йогурту	Концентрація добавки, %	Досліджуваний показник			
		запах	колір	смак	консистенція
Без цукру	0	приємний кисломолочний	білий	кисломолочний	однорідна, ніжна, з непорушеним згустком
З додаванням цукру	10	приємний кисломолочний	білий	кисломолочний, солодкий	однорідна, ніжна, з непорушеним згустком
З додаванням еритритолу	5	приємний кисломолочний	білий	кисломолочний, солодкуватий	однорідна, ніжна, з непорушеним згустком
З додаванням ксилітолу	5	приємний кисломолочний	білий	кисломолочний, солодкуватий	однорідна, ніжна, з непорушеним згустком
З додаванням стевії	0,1	приємний кисломолочний	білий	кисломолочний, солодкуватий, з легким присмаком	однорідна, ніжна, з непорушеним згустком

Сухі речовини кисломолочних напоїв включають всі хімічні складові частини (жир, білки, молочний цукор, мінеральні речовини та інші), які залишаються в продукті після видалення з нього вологи. Середній вміст сухих речовин залежить від якості вихідної сировини і часу його лактації. Для класичних видів продуктів основними факторами, що визначають їх якість, є, перш за все, білки і жир серед всіх компонентів сухого залишку.

Вміст жирів в йогурті визначається насамперед жирністю молока, з якого він був приготований.

Загалом за фізико-хімічними показниками йогурти повинні відповідати нормам, наведеним в табл. 2.

Таблиця 2

## Норми фізико-хімічних показників йогуртів

Назва показника	Норма
Масова частка жиру, %: – нежирного – жирного – вершкового	до 1,0 включ. від 1,5 до 6,0 включ. понад 6,0
Масова частка сухих речовин, %, не менше	9,5
Кислотність: – титрована, °T – активна, pH	від 80 до 140 » 4,8 » 4,0

Фізико-хімічні показники одержаних йогуртів визначали за загальноприйнятими методиками. Результати досліджень наведені в табл. 3.

Таблиця 3

## Фізико-хімічні показники одержаних йогуртів

Зразки йогурту	Концентрація добавки, %	Досліджуваний показник			
		кислотність		вміст сухих речовин, %	вміст жиру, %
		активна	титрована		
Без цукру	0	4,0	124	10,12	2,0
З додаванням цукру	10	4,0	110	14,86	1,7
З додаванням еритритолу	5	4,0	132	10,89	2,2
З додаванням ксилітолу	5	4,0	106	10,86	2,3
З додаванням стевії	0,1	4,0	104	10,73	2,5

Аналіз результатів дозволяє стверджувати, що фізико-хімічні показники одержаних йогуртів в цілому відповідають вимогам до даного продукту.

Щодо окремих показників встановлено, що йогурт з додаванням цукру має найбільшу кількість сухих речовин. Найнижчою кількістю сухих речовин характеризуються йогурт без добавок та з додаванням цукрозамінника стевії. Одержані дані відповідають рецептурі йогуртів, згідно з якою цукру до складу йогурту вносили більше за інші добавки, а стевії – найменше. Найвищий показник титрованої кислотності спостерігається у йогурті з додаванням еритриту, найменший – в йогурті з додаванням стевії. Активна

кислотність у всіх йогуртах дорівнює 4,0. За вмістом жиру найменша його кількість виявлена в йогурті з додаванням цукру, найбільша – в йогурті зі стевією.

Мікробіологічні показники є обов'язковими для визначення у йогурті, оскільки вони характеризують його безпечність. Справжній йогурт, в якому поєднані натуральне молоко і закваска, повинен містити чисті, «живі» культури в певному числі і пропорціях. Якщо вміст культур відхиляється від норми, продукт не можна називати йогуртом. Він не принесе тієї користі, за яку молочнокислий напій цінують у всьому світі.

За мікробіологічними показниками йогурт повинен відповідати даним, наведеним в табл. 4.

Таблиця 4

#### Норми мікробіологічних показників

Назва показника	Норма для йогурту
Кількість молочнокислих бактерій ( <i>Lactobacillus bulgaricus</i> і <i>Streptococcus thermophilus</i> ), КУО в 1 см <sup>3</sup> , не менше ніж	10 <sup>7</sup>
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), в 0,1 см <sup>3</sup>	не дозволено
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 см <sup>3</sup>	не дозволено
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1 см <sup>3</sup>	не дозволено
Дріжджі, КУО в 1 см <sup>3</sup> , не більше ніж	50
Плісняві гриби, КУО в 1 см <sup>3</sup> , не більше ніж	50

В роботі досліджено загальну кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ) та кількість молочнокислих життєздатних бактерій в йогуртах з цукром, без цукру та з додаванням цукрозамінників – ксиліту, еритриту та стевії. Результати досліджень наведено в табл. 5.

Таблиця 5

#### Кількість мікроорганізмів в досліджуваних йогуртах

№	Зразки йогурту	Кількість МАФАНМ, КУО в 1 см <sup>3</sup>	Кількість молочнокислих бактерій, КУО в 1 см <sup>3</sup>
1	Без цукру	3,5×10 <sup>8</sup>	1,0×10 <sup>8</sup>
2	З додаванням цукру	2,3×10 <sup>8</sup>	1,3×10 <sup>8</sup>
3	З додаванням еритритолу	2,8×10 <sup>8</sup>	1,5×10 <sup>8</sup>
4	З додаванням ксилітолу	2,6×10 <sup>8</sup>	1,2×10 <sup>8</sup>
5	З додаванням стевії	3,1×10 <sup>8</sup>	1,6×10 <sup>8</sup>

Аналіз одержаних даних дозволяє стверджувати, що найбільша загальна кількість молочнокислих мікроорганізмів виявлена у зразках йогурту з додаванням стевії та еритриту. Найменша кількість молочнокислих бактерій – в йогурті без добавок. Щодо загальної кількості мікроорганізмів, які здатні розвиватися в йогуртах (МАФАНМ), то найбільше їх виявлено в йогурті без добавок, найменше – в йогурті з додаванням цукру.

В цілому можна стверджувати, що внесення цукрозамінників не має негативного впливу на кількість та розвиток молочнокислих мікроорганізмів в йогуртах.

#### Висновки

Обґрунтовано доцільність створення функціональних кисломолочних продуктів з цукрозамінниками природного походження. Дослідним шляхом визначено оптимальне співвідношення компонентів йогуртів.

Проведено оцінювання якості створених функціональних кисломолочних продуктів. Встановлено, що за органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками одержані йогурти відповідають основним вимогам, які пред'являють до даного виду продукції.

#### Література

1. Системы управления качеством в молочной промышленности / С. Зайка, А. Тарчинска // Молочная промышленность. – 2004. - №6. – С. 21-22.
2. Современные тенденции в технологии кисломолочных напитков / З. Жбиковский // Молочная промышленность. – 2004. - №1. – С. 42-43.
3. Догарева Н.Г. Йогурт-продукт лечебно-профилактического и специального питания / Н.Г. Догарева, М.Б. Ребезов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции 1-3 февраля 2017 г., Оренбург / Министерство образования и науки Российской Федерации, "Оренбургский государственный университет". - Оренбург : ОГУ, 2017. - С. 1566-1572.
4. Лемехова А.А. Кисломолочні продукти з проростками злакових культур / А.А. Лемехова, Л.А. Силантьєва, Л.С. Івановська // Молочна промисловість. - 2010. - №10. – С.58.

5. Липатов Н.Н. Молочна промисловість в XXI ст. / Н.Н. Липатов // Питання харчування. - №6. - 1994. - С. 39-42.
6. Генделека Г.Ф. Использование сахарозаменителей и подсластителей в диетотерапии сахарного диабета и ожирения / Г.Ф. Генделека, А.Н. Генделека //Международный эндокринологический журнал. - №2(50). - 2013. - С. 34-38.
7. Еритрит. Користь для організму та можливі наслідки [Електронний ресурс]: Іван-поле. - Електрон.дані. Режим доступу:<https://ivan-pole.ru/info-pole/eritrit-polza-i-vred/>

#### References

1. Sistemy upravleniya kachestvom v molochnoj promyshlennosti / S. Zajka, A. Tarchinska // Molochnaya promyshlennost. - 2004. - №6. - P. 21-22.
2. Sovremennyye tendencii v tehnologii kislomolochnih napitkov / Z. Zhbikovskij // Molochnaya promyshlennost. - 2004. - №1. - P. 42-43.
3. Dogareva N.G. Jogurt-produkt lechebno-profilakticheskogo i specialnogo pitaniya / N.G. Dogareva, M.B. Rebezov // Universitetskij kompleks kak regionalnyj centr obrazovaniya, nauki i kultury: materialy Vserossijskoj nauchno-metodicheskoy konferencii 1-3 fevralya 2017 g., Orenburg / Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, "Orenburgskij gosudarstvennyj universitet". - Orenburg : OGU,2017. - P. 1566-1572.
4. Lemekhova A.A. Kislomolochni produkty z prorostkami zlakovykh kultur / A.A. Lemekhova, L.A. Sylantieva, L.S. Ivanovska // Molochna promyslovist. - 2010. - №10. - P.58.
5. Lypatov N.N. Molochna promyslovist v XXI st. / N.N. Lypatov // Pytannia kharchuvannia. - №6. - 1994. - P. 39-42.
6. Gendeleka G.F. Ispolzovanie saharozamenitelej i podslastitelej v dietoterapii saharного diabeta i ozhireniya / G.F. Gendeleka, A.N. Gendeleka //Mezhdunarodnyj endokrinologicheskij zhurnal. - №2(50). - 2013. - P. 34-38.
7. Erytryt. Koryst dlia orhanizmu ta mozhyvi naslidky [Elektronnyi resurs]: Ivan-pole. - Elektron.dani. Rezhym dostupu:<https://ivan-pole.ru/info-pole/eritrit-polza-i-vred/>

Рецензія/Peer review : 05.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.

Л.В. САЛЄБА, Д. Г. САРІБЄКОВА  
Херсонський національний технічний університет

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ АНТОЦΙΑНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФЕРМЕНТНИХ КОМПЛЕКСІВ

*В роботі проведено дослідження екстрагування природних барвників – антоціанів з вичавок винограду. Для підвищення вмісту антоціанів у вихідному екстракті досліджено додаткову обробку вичавок винограду ферментними препаратами виробництва ДП «Ензим» м. Ладизжин: препарат Альфалад БН Л і препарат Целюлаза. Наведено опис досліджень щодо збільшення виходу барвних речовин з вичавок винограду під час процесу обробки ферментними препаратами та водно-етанольної екстракції. Показано, що використання ферментних препаратів для попередньої обробки сировини дозволяє збільшити вихід антоціанів за рахунок руйнування клітинних стінок і полегшити наступну стадію екстракції барвних речовин водно-етанольним розчином.*

*Ключові слова: антоціани, екстракція, ферменти, вичавки винограду.*

L. SALEBA, D. SARIBYEKOVA  
Kherson National Technical University

## IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF EXTRACTION OF ANTOCYANES USING ENZYME COMPLEXES

*Grape pomace is a valuable source of raw materials for industrial processing and extraction of anthocyanins. The paper improves the process of extraction of natural dyes – anthocyanins. The subject of the study is anthocyanins extracted from grape pomace Moldova, after obtaining wine by the white method. The object of the study is the process of extraction of anthocyanin dyes using pre-treatment of raw materials with solutions of enzymes or their complexes.*

*To increase the content of anthocyanins in the original extract, additional treatment of grape pomace with enzyme preparations manufactured by the State Enterprise "Enzyme" in Ladyzhyn was introduced: Alfalad BN L and Cellulase. The use of enzyme preparations allows to increase the yield of the extract due to the destruction of cell walls and increase the amount of dry matter. In the second stage, after treatment with enzymes, anthocyanins were extracted with 50% ethyl alcohol acidified with citric acid at 70 °C for 30 minutes. The results of the study of the effect of the concentration of the enzymes Alfalad BN L and Cellulase on the amount of extracted anthocyanin dyes from frozen grape pomace Moldova indicate the prospects for their use. The best results were obtained for the enzyme Alfalad BN L at a concentration of 1.5 g/l and for the enzyme Cellulase 3 g/l under conditions of treatment at 45 °C for 60 minutes, module 2, pH 4.5. Studies of the synergism of the enzymes have shown that a mixture of enzymes Alfalad BN L 1.5 g/l and Cellulase 3 g/l is effective in the processing of grape pomace for 30 minutes.*

*It is shown that pre-treatment with the enzyme complex significantly facilitates the stage of extraction of anthocyanins with aqueous-ethanol solution. Removal of dyes occurs completely in 30 minutes of processing.*

*Keywords: anthocyanins, extraction, enzymes, grape pomace.*

**Постановка проблеми.** Для надання червоного кольору високоякісним харчовим продуктам використовують натуральні харчові барвники – антоціани, що дозволяє покращити якість і біологічну цінність продукту. Антоціанові пігменти володіють не тільки фарбувальною здатністю, але і високою біологічною активністю. При надходженні в організм з продуктами антоціани проявляють дію, схожу з дією вітаміну Р – підтримують оптимальний рівень кров'яного тиску, попереджаючи внутрішні крововиливи; володіють здатністю до швидкого виведення радіоактивних з'єднань з організму; здатні позитивно впливати на зір [1].

Відомо, що анатомічно антоціани локалізуються у вакуолях, перебуваючи переважно в епідермісі (85%) і периферичному мезофілі (15%). На даний момент визначено і відомо більше 500 антоціанів, які відрізняються один від одного бічними радикалами. При широкому розмаїтті та розповсюдженні, антоціани є похідними лише шести антоціанідинів (агліконів): пеларгонідину, ціанідину, пеонідину, дельфінідину, петунідину і мальвідину [2]. Всі з'єднання мають С<sub>15</sub>–вуглецевий скелет – два бензольних кільця, що з'єднані С<sub>3</sub>–фрагментом, який утворює піранове кільце з атомом кисню. Антоціани відрізняються від інших флавоноїдних сполук наявністю позитивного заряду і подвійного зв'язку біля кисню у кільці [2, 3].

Екстрагування антоціанів проводять з рослинної сировини, плодів, ягід, а також відходів рослинної сировини, таких як жом, шрот та інше з використанням дозволених розчинників. Природні флавоноїдні глікозиди добре розчинні у воді і можуть екстрагуватися з тканин рослини водою або водними розчинами спиртів. Оскільки антоціани несуть позитивний заряд, їх екстракція потребує слабкокислих умов. При екстрагуванні слід враховувати, що антоціанідини та їх глікозиди швидко руйнуються під дією світла до безбарвних псевдооснов [4], в присутності кислот розчини мають яскраво-червоне забарвлення завдяки утворенню флавиліум-іона, а у лужному середовищі при рН більше 9, коли відбувається іонізація ОН-груп, забарвлення розчинів змінюється завдяки утворенню хіноїдальної структури молекули. Крім того, антоціани це феноли, і тому їх спектри поглинання змінюються при утворенні хелатів з металами.

Перспективним напрямком удосконалення технологічних процесів в переробних галузях харчової промисловості є використання високоактивних біологічних каталізаторів. Ферментні препарати сприяють істотному збільшенню виходу, підвищенню якості та подовженню термінів зберігання готової продукції [5]. Крім того, ферментативний каталіз дозволяє радикально змінювати функціонально-технологічні властивості сировини на різних етапах її переробки, відкриваючи тим самим широкі можливості створення принципово нових легкозасвоюваних продуктів, в тому числі спеціалізованої харчової продукції.

Для даного дослідження цікавим є факт, що використання ферментних препаратів дозволяє збільшити вихід екстракту за рахунок руйнування клітинних стінок і збільшення кількості сухих речовин. Таким чином, для кращого вилучення клітинної рідини, вакуолей, які містять антоціани, хромопластів необхідно зруйнувати оболонку клітин, яка складається із геміцелюлоз і пектинових речовин, а для цього можна застосовувати відповідні ферменти. До ферментів, що каталізують гідроліз некрохмальних полісахаридів рослинної сировини, відносяться ферменти целюлолітичної, геміцелюлазної і пектолітичної дії.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Через постійне збільшення кількості сировини, яка переробляється, на підприємствах харчової промисловості прямо пропорційно збільшується кількість відходів. Їх раціональне використання при виготовленні продукції є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить значно збільшити вихід готової продукції, підвищити ефективність виробництва та суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища.

Так, у виноробній промисловості вторинна сировина становить близько 20% від винограду, що переробляється, це відходи, що залишаються після пресування винограду свіжого (солідкі вичавки) або перебродженої мезги (зброджені вичавки). Відходи промислової переробки рідко піддаються вторинному використанню. У зв'язку з цим розширення способів переробки відходів винограду є актуальним.

Вичавки винограду є цінним джерелом сировини для промислової переробки і екстрагування антоціанів. Шкірочка ягід винограду містить такі цінні компоненти, як поліфеноли, лігнін, ароматичні, фарбувальні, мінеральні речовини, амінокислоти, вітаміни та ін. Барвники зосереджуються в третьому і четвертому рядах клітин шкірки, дубильні речовини накопичуються в більш глибоких шарах, ароматичні містяться в клітинах, що стикаються безпосередньо з м'якоттю, а також в клітинах м'якоти.

За даними Ф.В. Церевітінова склад шкірки винограду наступний (%): вода 70, загальна кислотність 0,41, дубильні речовини 0,61, клітковина 3,5, пентозани 1,33, мінеральні речовини 1,72. Дані залежать від сорту винограду, умов вирощування, кліматичних умов, агротехніки і ін. Насіння винограду містить 4 – 19 % жирів, 1,8 – 8,0 % дубильних речовин. Червоний пігмент вина залишається у шкірці винограду після виготовлення вина за так званним білим способом. Крім того у ягодах знаходиться пігмент кверцетин та конденсовані форми танінів – флобафени [3].

Вичавки винограду після одержання вина за білим способом можна зберігати у замороженому стані перед екстрагуванням антоціанів. З літературних джерел відомо склад фенольних речовин винограду [6], а саме сорту Молдова, який наведено у табл. 1. Даний спосіб зберігання сировини дозволяє видалити деяку кількість вологи, дозволяє загальмувати зростання і розмноження різних бактерій і грибів. Крім того, вплив низьких температур істотно не впливає на якість і кількість антоціанів.

Таблиця 1

**Динаміка фенольних речовин у винограді при тривалому зберіганні в замороженому стані, мг/100г**

Фенольні речовини	Тривалість зберігання, дні				
	0	1	84	178	238
Антоціани	106,00±2,65	117,00±1,13	115,00±1,50	114,00±1,97	99,20±3,37
Лейкоантоціани	83,90±2,38	86,00±1,48	89,00±2,65	92,50±1,32	80,60±1,47
Катехіни	99,20±2,01	90,40±3,33	87,00±1,73	64,80±1,87	93,60±1,40
Флаванолі	80,80±1,56	80,40±1,40	82,50±3,28	84,80±1,05	82,40±1,06
Усього	369,90±2,15	373,80±1,83	373,50±2,29	356,10±1,55	355,80±1,82

У якості харчових барвників антоціани використовують у вигляді концентрованих екстрактів, які є сумішшю різних водорозчинних речовин, що містяться у вичавках винограду. Для успішного перебігу екстракції антоціанів водою необхідно підтримувати температуру не менше 70°C, для інактивації поліфенолоксидазних ферментів, оскільки при проведенні екстракції водними розчинами можливі процеси гідролізу і окислення органічних речовин в присутності кисню повітря. При вилученні антоціанів слід враховувати, що при високих температурах 80 – 98°C спостерігається явище деградації пігментів [7], крім того видалення води після екстрагування вимагає додаткових енергетичних витрат і призведе до втрат пігменту. Тому існують способи екстрагування із використанням надкритичного двоокису вуглецю, органічних розчинників, спиртів та їх водних розчинів [8, 9].

**Формулювання мети дослідження.** Мета роботи полягала в удосконаленні процесу екстрагування барвних речовин (антоціанів) з вичавок винограду шляхом використання попередньої обробки сировини розчинами ферментів або їх комплексів, що покращують руйнування клітини рослин і звільнюють речовини, які містяться всередині.

**Виклад основного матеріалу.** У якості об'єкта дослідження використовували заморожені вичавки винограду Молдова після одержання вина за білим способом. Крім ефекту консервування та інактивації ферментів, які досягаються під час заморожування вичавок винограду, кристали льоду руйнують стінки клітин, що суттєво покращує подальший процес екстракції. Вичавки винограду Молдова являють собою ущільнену масу, яка складається зі шкірочки інтенсивного забарвлення і невеликої кількості кісточок та м'якоти. Незважаючи на зменшення вмісту корисних речовин у вичавках, їх можна використовувати для подальшої переробки, тому що вони мають достатню кількість флавоноїдів, у тому числі антоціанів. Антоціани, що входять до складу винограду, являють собою глікозиди наступних агліконів: ціанідин, мальвідин, дельфінідин, петунідин, пеонідин.

В роботі за основу проведення процесу екстракції було взято оптимальні параметри поверхні відгуку математичної моделі залежності вмісту антоціанів від тривалості процесу, температури та гідромодуля, створеної при оптимізації процесу екстрагування антоціанів та одержаної у попередніх дослідженнях [10].

Для підвищення вмісту антоціанів у вихідному екстракті в даному дослідженні введено додаткову обробку вичавок винограду перед екстракцією ферментними препаратами виробництва ДП «Ензим» м. Ладижин: препарат Альфалад БН Л і препарат Целюлаза (ТУУ 24.1-32813696-016:2008 Препарати ферментні для харчової промисловості. Специфікація №18 Альфалад БН Л (номер партії 05-20ж). Специфікація №7 Целюлад (номер партії 06-20)).

Схема проведення вилучення антоціанів у роботі:

1 стадія – обробка вичавок винограду розчином ферменту обраної концентрації при температурі 45°C, протягом досліджуваного часу, рН 4,5 (лимонна кислота), модуль 2.

2 стадія – інактивація ферменту нагріванням до 100°C протягом 1 хвилини і охолодження.

3 стадія – віджимання і фільтрування одержаного розчину від шкірок і кісточок.

4 стадія – екстракція відфільтрованих вичавок винограду водно-етанольним розчином, рН 4,5 (лимонна кислота), модуль 2, протягом визначеного часу при температурі 70°C. Охолодження, віджимання і фільтрування.

Масову частку антоціанів розраховували за спектрофотометричним диференційним методом з визначенням величини поглинання екстрактів при 510 нм і 700 нм в умовах рН 1,0 і рН 4,5. Різниця в величині поглинання відображає рівень антоціанів. Концентрацію антоціанів (АЦ) розраховували в мг/кг ціанідин-3-глюкозиду. Використання різних довжин хвиль дозволяє виключити вплив сторонніх домішок на результат визначення, оскільки тільки ціанідин не поглинає при 510 нм при рН 4,5. Оптичну густину вимірювали на спектрофотометрі ULAB 102 з кюветою 10 мм, у якості розчину порівняння використовувати екстрагент [9, 11].

На першому етапі проводили визначення оптимальної концентрації ферментних препаратів для попередньої обробки вичавок винограду. Було обрано наступні умови обробки: концентрація ферментів 0,5 – 9 г/л, час обробки 60 хвилин, модуль 2, температура 45°C. До складу розчину, яким обробляли шкірки винограду, входили ферменти Альфалад БН Л або Целюлаза і лимонна кислота 1,5 г/л (до рН 4,5). У якості контрольного зразка використовували обробку дистильованою водою з лимонною кислотою до рН 4,5.

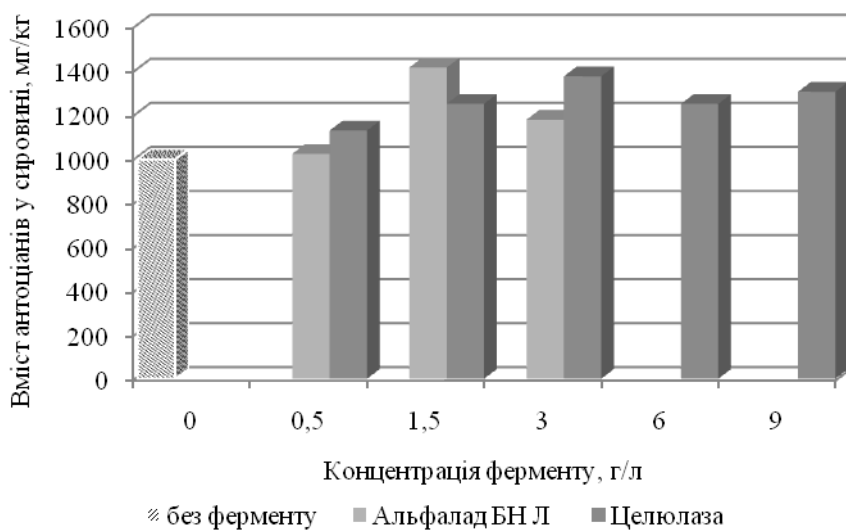


Рис. 1. Вплив концентрації ферменту на кількість вилучених антоціанів

Результати, наведені на діаграмі (рис.1), свідчать, що при збільшенні концентрації ферменту Альфалад БН Л до 3 г/л кількість вилучених антоціанів зростає на 15% у порівнянні з концентрацією 0,5 г/л, але є нижчою ніж при концентрації 1,5 г/л, що може свідчити про переважну реакцію деградації антоціанів у екстрактах. Кращі результати одержані для концентрації Альфалад БН Л 1,5 г/л – 1413 мг/кг сировини, ефективність дії ферменту складає 42%.

Результати дослідження впливу концентрації ферменту Целюлаза на кількість вилучених АЦ свідчать, що оптимальною є концентрація ферменту 3 г/л, кількість вилучених АЦ складає 1373 мг/кг, при цьому ефективність дії ферменту складає 38%. При збільшенні концентрації ферменту Целюлаза до 9 г/л відбувається незначне зниження кількості вилучених антоціанів на 1 – 5%, що свідчить про переважання процесу руйнування пігменту у розчині під дією ферменту над вилученням.

Таким чином, в процесі проведених досліджень обрано оптимальні концентрації ферментів для попередньої обробки вичавок винограду протягом 60 хвилин при температурі 45°C: для ферменту Альфалад БН Л – 1,5 г/л і для ферменту Целюлаза – 3 г/л.



Подальші дослідження направлені на пошук синергізму дії ферментів при їх спільній присутності у просочувальній ванні на першій стадії обробки для вибору оптимального часу. Для цього варіювали концентрацію препаратів і час обробки від 30 до 60 хвилин. Контрольний зразок (варіант 1) – обробка дистильованою водою з лимонною кислотою протягом 60 хвилин. Данні представлені в табл. 2.

Таблиця 2

## Залежність кількості вилучених АЦ від концентрації ферментів і часу обробки

Показник	Варіант				
	1	2	3	4	5
Концентрація Альфапад БН Л, г/л	0	0,5	1,5	0,5	1,5
Концентрація Целюлаза, г/л	0	1,5	3	1,5	3
Час обробки, хвилин	60	60	60	30	30
Концентрація АЦ у розчині $C_{розч}$ , мг/л	515,99	576,11	624,21	435,51	644,91
Вміст АЦ у сировині $AЦ_{сир}$ , мг/кг	1052,62	1147,63	1248,41	861,54	1275,03
Вміст АЦ (перерахунок на абсолютно суху сировину) $AЦ_{сух}$ , мг/кг	3395,56	3702,04	4027,12	2779,15	4113,01

Результати, наведені в табл. 2, свідчать про приріст кількості антоціанів на 9 – 21% в залежності від варіанта обробки. Кращий результат показав варіант 5 (суміш ферментів Альфапад БН Л 1,5 г/л і Целюлаза 3 г/л протягом 30 хвилин). Ефективність дії ферментів становить 21%. При зниженні співвідношення компонентів у суміші у два рази спостерігається зменшення кількості вилучених антоціанових барвників на 10% при часі обробки 60 хвилин (варіант 2) і на 20% за 30 хвилин (варіант 4) у порівнянні з кращим варіантом 5.

Процес екстракції складається з кількох стадій, які повинні бути оптимізовані у залежності від сировини, об'ємів екстракції, очікуваного кінцевого продукту.

Найбільш ефективну екстракційну систему було обрано, після серії попередніх експериментів, де було проаналізовано концентрацію розчинника етилового спирту, модуля екстракції, температури і часу. Методом ПФЕ (повного факторного експерименту) обрано оптимальні умови екстракції [10]: 50% водно-етанольний розчин, температура екстракції 70°C, гідромодуль 2. Оптимальний час екстракції, який відповідає настанню стану рівноваги між концентрацією антоціанів в рідкій та твердій фазах, встановлено як 60 хвилин, який залежить від ряду факторів (розмірів частинок сировини, температури і ін.).

Таким чином за результатами виконаних досліджень нами запропоновано наступні умови обробки:

1 стадія – обробка вичавок винограду ферментним комплексом Альфапад БН Л 1,5 г/л і Целюлаза 3 г/л при температурі 45°C, протягом 30 хвилин, рН 4,5 (лимонна кислота), модуль 2 (зразок Д1 табл. 3).

2 стадія – інактивація ферменту нагріванням до 100°C протягом 1 хвилини і охолодження.

3 стадія – віджимання і фільтрування одержаного розчину від шкірок і кісточок.

4 стадія – екстракція відфільтрованих вичавок винограду 50% етиловим спиртом, рН 4,5 (лимонна кислота), модуль 2, протягом 30 хвилин при температурі 70°C. Охолодження, віджимання і фільтрування.

Таблиця 3

## Кількість вилучених антоціанів в залежності від виду обробки

Варіант	К1	Д1	К2	Д2
$C_{розч}$ , мг/л	664,6	731,4	254,8	331,6
$AЦ_{сир}$ , мг/кг	1312,7	1439,8	503,3	652,8
$AЦ_{сух}$ , мг/кг (w=69%)	4234,5	4644,5	1623,6	2105,9

Примітка: К1 – зразок після 1-ої стадії обробки без ферментного комплексу; Д1 – зразок після 1-ої стадії обробки з ферментним комплексом; К2, Д2 – зразки К1 і Д1 після 4-ої стадії обробки.

Результати свідчать, що контрольний зразок показав сумарно кількість антоціанів, вилучених за дві стадії К1 і К2,  $AЦ_{сух}$  5858 мг/кг. Сумарна кількість вилучених антоціанів у дослідному зразку з використанням попередньої обробки ферментним комплексом складає 6750 мг/кг, що більше на 15%. Якщо порівнювати ефективність процесів за стадіями, то перша стадія (Д1) – обробка ферментом ефективніша на 10%, а друга стадія (Д2) – обробка водно-етанольним розчином ефективніша на 30%.

Таким чином попередня обробка ферментним комплексом значно полегшує наступну стадію екстракції антоціанів водно-етанольним розчином і дозволяє скоротити час екстракції у два рази. Вилучення барвних речовин відбувається повністю за 30 хвилин обробки.

**Висновки.** 1. Результати дослідження впливу концентрації ферментів Альфапад БН Л і Целюлаза на кількість екстрагованих антоціанових барвників з заморожених вичавок винограду Молдова свідчать про перспективи використання ферментів для попередньої обробки сировини. Кращі результати одержані для ферменту Альфапад БН Л при концентрації 1,5 г/л і для ферменту Целюлаза 3 г/л за умов обробки при 45 °С протягом 60 хвилин.

2. Дослідження синергізму дії ферментів показали, що суміш ферментів Альфапад БН Л 1,5 г/л і

Целюлаза 3 г/л ефективна при обробці вичавки винограду протягом 30 хвилин. Кількість барвних речовин складає в перерахунку на абсолютно суху сировину 4113 мг/кг.

3. Показано, що попередня обробка ферментним комплексом значно полегшує стадію екстракції антоціанів водно-етанольним розчином. Вилучення барвних речовин відбувається повністю за 30 хвилин обробки. Сумарна кількість вилучених антоціанів складає 6750 мг/кг.

### Література

1. Активация растительных биологически активных веществ физическими методами : монография / Р.Ю. Павлюк, Н.В. Дібрівська, В.А. Павлюк [та ін.]. – Х. : ХДУХТ, 2010. – 152 с.
2. Ластухін Ю.О. Харчові добавки. Е-коди. Будова. Одержання. Властивості / Ю.О. Ластухін – Львів : Центр Європи, 2009. – 836 с.
3. Харламова О.А. Натуральные пищевые красители / О.А. Харламова, Б.В. Кафка. – М. : Пищевая промышленность, 1979. – 192 с.
4. Дубініна А.А. Вплив технологічних чинників на колір рослинної сировини / А.А. Дубініна, Т.В. Щербакова, Ю.М. Хацкевич [та ін.] // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2017. – Вип. 2. – С. 374–390.
5. Дишкантюк О.В. Вдосконалення процесу екстракції натуральних харчових барвників / О.В. Дишкантюк, О.М. Кондрацька // Харчова наука і технологія, ОНАХТ, Одеса. – № 1 (22). – 2013. – С. 38–40.
6. Виноградов В.А. Технологии получения натурального пищевого красителя из виноградной выжимки / В.А. Виноградов, В.И. Иванченко, К.А. Ковалевский [и др.] // Магарач. Виноградарство и виноделие – 2012. – № 3. – С. 35–38.
7. Салеба Л.В. Дослідження стабільності антоціанів / Л.В. Салеба, О.С. Кондя, О.О. Буркот // Food chemistry. Modern methods for production of food, food additives and packaging materials : book of abstracts, 7–9 October 2020, Lviv. – Lviv : Lviv Polytechnic National University, 2020. – P. 42.
8. Папченко В.Ю. Узагальнення наукових основ одержання харчових барвників / В.Ю. Папченко, Л.М. Кузнецова // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2015. – № 44 (1153). – С. 65–68.
9. Кондя О.С. Екстрагування антоціанів з горобини чорноплідної / Кондя О.С., Салеба Л.В. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2019. – № 1(68). – С. 99–104.
10. Кондя О.С. Оптимізація процесу екстрагування антоціанів / О.С. Кондя, Л.В. Салеба, А.О. Кирюшин // Хімія, біо- і нанотехнології, екологія та економіка в харчовій та косметичній промисловості : матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції, 1-2 листопада 2018 р., м. Харків. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – С.102–104.
11. Wrolstad R.E., Giusti M.M. 2001. Unit F1.2: anthocyanins. Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. In: Wrolstad, RE, editor. Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley & Sons. p. F1.2.1– 1.2.13.

### References

1. Aktivacija roslynnykh biologichno aktyvnykh rehovyn fizychnymy metodamy : monografija / R.Ju. Pavljuk, N.V. Dibrivsjka, V.A. Pavljuk [ta in.]. – Kh. : KhDUKHT, 2010. – 152 s.
2. Lastukhin Ju.O. Kharchovi dobavky. E-kody. Budova. Oderzhannja. Vlastyvoli / Ju.O. Lastukhin – Ljviv : Centr Jevropy, 2009. – 836 s.
3. Harlamova O.A. Naturalnye pishevyie krasiteli / O.A. Harlamova, B.V. Kafka. – M. : Pischevaya promyshlennost, 1979. – 192 s.
4. Dubinina A.A. Vplyv tekhnologichnykh chynnykiv na kolir roslynnoji syrovyny / A.A. Dubinina, T.V. Shherbakova, Ju.M. Khackevych [ta in.] // Proghresyvni tekhnika ta tekhnologhiji kharchovykh vyrobnyctv restorannogho ghospodarstva i torghivli. – 2017. – Vyp. 2. – S. 374–390.
5. Dyshkantjuk O.V. Vdoskonalennja procesu ekstrakciji naturalnykh kharchovykh barvnykiv / O.V. Dyshkantjuk, O.M. Kondracjka // Kharchova nauka i tekhnologhija, ONAKhT, Odessa. – № 1 (22). – 2013. – S. 38–40.
6. Vinogradov V.A. Tehnologii polucheniya naturalnogo pishevogo krasitelya iz vinogradnoy vyzhimki / V.A. Vinogradov, V.I. Ivanchenko, K.A. Kovalevskiy [i dr.] // Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie – 2012. – № 3. – S. 35–38.
7. Saljeba L.V. Doslidzhennja stabilnosti antocianiv / L. V. Saljeba, O. S. Kondja, O. O. Burkot // Food chemistry. Modern methods for production of food, food additives and packaging materials : book of abstracts, 7–9 October 2020, Lviv. – Lviv : Lviv Polytechnic National University, 2020. – P. 42.
8. Papchenko V. Ju. Uzagaljnennja naukovykh osnov oderzhannja kharchovykh barvnykiv / V. Ju. Papchenko, L. M. Kuznecova // Visnyk Nac. tekhn. un-tu «KhPI» : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Innovacijni doslidzhennja u naukovykh robotakh studentiv. – Kharkiv : NTU «KhPI». – 2015. – № 44 (1153). – S. 65–68.
9. Kondja O.S. Ekstraghuвання antocianiv z ghorobyny chornoplidnoji / Kondja O.S., Saljeba L.V. // Visnyk Khersonskjogho nacionaljnogho tekhnichnogho universytetu. – 2019. – № 1(68). – S. 99–104.
10. Kondja O.S. Optymizacija procesu ekstraghuвання antocianiv / O.S. Kondja, L.V. Saljeba, A.O. Kyryshyn // Khimija, bio- i nanotekhnologhiji, ekolohija ta ekonomika v kharchovij ta kosmetychnij promyslovosti : materialy VI mizhnarodnoji naukovykh-praktychnoji konferenciji, 1-2 lystopada 2018 r., m. Kharkiv. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2018. – S.102–104.
11. Wrolstad R.E., Giusti M.M. 2001. Unit F1.2: anthocyanins. Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. In: Wrolstad, RE, editor. Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley & Sons. p. F1.2.1– 1.2.13.

Рецензія/Peer review : 05.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ,  
О.К. КОПАЙГОРА, Д.П. ЗАКІНА, А.К. ЛИТВИНЕНКО

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАМОРОЖУВАННЯ РЕМІСНИЧОГО ХЛІБА

Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ремісничого хліба за стадіями охолодження, попереднього заморожування, подальшого заморожування до  $-20^{\circ}\text{C}$ , в якій реалізовані MES-, ERP- та SCADA-системи. Вона вміщує такі програми керування дільницями: підготовки сировини, виробництва опари, тіста, випікання, охолодження ремісничого хліба та його попереднього заморожування, заключного оптимального заморожування в конвеєрному морозильному апараті (КМА). Верхній рівень інтелектуального керування включає системи планування ресурсів та логістики хліба, який за допомогою інформаційної шини Profibus DP, SCADA-систем, алгоритмів нечіткого керування з автоматичною модифікацією системи продукційних правил корегує планові показники енергозатрат з врахуванням якісних показників борошна, опари, тіста.

Ключові слова: ремісничий хліб, керування інтелектуальне, керування нечітке, фазифікація, дефазифікація, алгоритм керування заморожуванням, моделювання системи

V. P. KHOROLSKYI, YU. M. KORENETS, O. K. KOPAYHORA, D. P. ZAIKINA, A. K. LYTVYNENKO  
Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tuhun-Baranovskiy

### AUTOMATED SYSTEM OF FUZZY CONTROL OF PRODUCTION PROCESSES AND FREEZING OF CRAFT BREAD

*Abstract. An intelligent control system for the production of handicraft bread by stages of cooling, pre-freezing, subsequent freezing to  $-20^{\circ}\text{C}$  has been developed, in which MES-, ERP- and SCADA-systems are implemented. It includes the following site management programs: preparation of raw materials, production of sourdough, dough, baking, cooling of artisanal bread and its pre-freezing, final optimal freezing in a conveyor freezer (KMA). The upper level of intelligent control includes resource planning systems and bread logistics, which with the help of Profibus DP information bus, SCADA-systems, fuzzy control algorithms with automatic modification of the system of production rules adjusts energy consumption targets taking into account the quality of flour and dough.*

*The principles of construction of the automated system of fuzzy control of optimization of energy of the refrigerant in the system of refrigeration of the conveyor freezer intended for freezing of artisanal bread and preservation of its quality at variation of parameters of raw materials based on data received in real time are offered. The novelty of the developed system of the automated process of freezing of artisanal bread is that it is built on the basis of a fuzzy regulator with linguistic feedback and automatic modification of the system of production rules. This system allows, compared to traditional PID-regulators, to reduce by 10-12% energy consumption for the production of 1 ton of bread by reducing the response time of the program to change energy consumption in production with specified performance and quality parameters, as well as freezing performance in the developed intellectual artisanal bread production management system.*

*Using a simulation model of bread freezing, it is proved that the automated system of artisanal bread production with fuzzy control and dynamic adjustment of the system of production rules allows to stabilize the set parameters of bread freezing with an error of  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , and its speed reduces product freezing time by 15-16%, why provides a higher level of digital control quality.*

*Key words: craft bread, intelligent control, fuzzy control, fassification, defasification, freeze control algorithm, system modeling*

### Постановка задачі

У процесі забезпечення населення техногенних територій продуктами харчування високої якості виникає питання проектування виробничих процесів харчових продуктів на основі безлюдних технологій. Цю проблему потрібно вирішувати за рахунок впровадження автоматизованих виробництв з робототехнологічними комплексами, промислового Інтернету речей (ІоТ) та інформаційно-комунікаційних технологій, що забезпечують виробництво та розподіл безпечної продукції між споживачами в зонах високого забруднення навколишнього середовища [1].

### Аналіз досліджень та публікацій

Автоматизоване виробництво високоякісної продукції харчування для регіонів з високим рівнем забруднення тісно пов'язане зі збільшенням виробництва охолоджених і заморожуваних напівфабрикатів та готових продуктів [2]. Ця тенденція сприяє розробці інформаційних систем керування нутрієнтною збалансованістю продуктів харчування, контролю параметрів їх якості в реальному масштабі часу та забезпеченню автоматизованого керування технологічними процесами виробництва продукції, заморожування напівфабрикатів та готової продукції. Питаннями автоматизованого виробництва хліба в Україні займаються вчені багатьох закладів вищої освіти, серед них Б. М. Гончарук, А. П. Ладанюк, В. Г. Трегуб, І. В. Ельперін, Л. О. Злобін, С. М. Швед, Я. І. Проць та багато інших вчених і наукових колективів [3, 4].

В той же час питанню автоматизованого виробництва спеціальних сортів хліба, наприклад, ремісничого, на заквасці, в нашій країні не приділяється достатньої уваги, тоді як системи автоматизованого виробництва ремісничого хліба, розроблені на основі технологій Індустрії-4.0 вже працюють в країнах ЄС. Отже подібні технології представляють значний інтерес для харчової промисловості України та вимагають аналогічних розробок.

### Формулювання цілей

Метою статті є розробка автоматизованих систем нечіткого керування процесами виробництва

ремісничого хліба та оптимізації енергоефективності процесів заморожування напівфабрикатів та готових виробів для тривалого зберігання.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасне виробництво заморожуваного ремісничого хліба для людей, що мешкають на територіях з техногенним тиском, представляє собою складне автоматизоване виробництво з високим рівнем невизначеності [1, 4, 5]. На рис. 1 наведено систему дворівневого інтелектуального керування виробництвом ремісничого хліба, в якій:

1, 2, 3, 4, 5 – відповідні виробничі дільниці з технологічним обладнанням;

6 – системи інформаційного забезпечення;

6а – системи програмного забезпечення;

7 – локальні системи автоматизованого нечіткого керування;

8, 9, 10 – системи автоматизованого керування верхнім рівнем виробничо-технологічного комплексу (ВТК) з MES- та ERP-системами та системами відображення корпоративної інформації за допомогою МКП.

Керування дільницями виконують оператори – технологи з автоматизованих робочих місць (АРМ) Оперативна інформація з виробничих дільниць 1, 2, 3, 4, 5 та лабораторії заводу 11 надходить в систему інформаційного забезпечення 6. Нижній рівень керування ВТК спроектовано на основі SCADA-систем.

В інтелектуальній системі спроектовано нечіткі або фаззи-системи автоматичного керування (САК). Вони можуть бути використані як САК стабілізації й оптимізації технологічних процесів підготовки сировини (1), виробництва опари-тіста (2), дільниці випікання (3), стадії охолодження (4) та дільниці заморожування (5). Доведемо, що фаззи-САК мають ряд важливих переваг щодо типових САК з ПІ та ПІД-регуляторами.

Якщо складні процеси виробництва хліба віднести до квазінелінійних, то при керуванні ними кращі результати одержують тоді, коли проєктанти САК використовують нечітку інформацію про параметри борошна та опари. Особливу увагу приділяють процесу приготування опари, який протікає 30-35 годин та є найбільш інформативним [1, 4].

На хлібозаводах такі технологічні процеси як підготовка борошна, виробництво опари-тіста, випікання, охолодження хліба до температури  $+30...35^{\circ}\text{C}$  та початкове заморожування до температури  $-7^{\circ}\text{C}$ , а потім заморожування до температури  $-18...-20^{\circ}\text{C}$  уявляють собою складні квазінелінійні об'єкти керування.

Ідентифікація та алгоритмізація таких процесів – предмет сучасних наукових досліджень, що вимагає значних інвестицій щодо створення математичних моделей, їх дослідження, впровадження САК у виробництво в умовах невизначеності параметрів сировини, складних фізико-хімічних і біологічних процесів технології Rademaker [6].

Для хлібозаводів Придніпровського регіону у процесі технологічного переозброєння необхідно постійно проводити моніторинг екологічної складової, а саме якості води, борошна, інгредієнтів й постійного прогнозування впливу їх характеристик на вихідні показники продукції. Такі довготермінові збудження повинні бути враховані при проєктуванні фаззи-САК, які повинні адаптуватися за темпом з процесом надходження борошна на стадію виготовлення опари-хліба та процесом заморожування.

На рис. 2 наведено типову блок-схему адаптивної фаззи-системи стабілізації вихідних змінних. Принцип стабілізації густини опари з врахуванням сили борошна  $F_6$  та її рН на виході з опарного відділення детально розглянуто в [1]. Адаптація виникає при тривалих і значних чинниках збурення характеристик сили борошна  $F_6$  в порівнянні з їх стандартними значеннями, що важливо при проєктуванні САК процесів приготування тіста та випікання ремісничого хліба. Ці процеси також детально розглянуто в [1, 5], що дозволило авторам статті використати одержані базу прецедентів (БП) і бази знань (БЗ) при побудові фаззи-систем керування процесами охолодження й заморожування ремісничого хліба. Утім в типовій блок-схемі фаззи-керування, наведеній на рис. 2, основним виконавчим механізмом є регулюємий вентиль (РВ) системи холодопостачання конвеєрного морозильного апарата – об'єкт керування (ОК).

Крім цього використано додатковий керований вплив – швидкість конвеєра морозильного апарата. З метою побудови інтелектуальної системи нечіткого керування енергоємним процесом заморожування ремісничого хліба за допомогою джерел [6, 7] проведемо дослідження робочих характеристик конвеєрного морозильного апарата, який наведено на рис. 3.

Конвеєрні морозильні апарати – це апарати циклічної або безперервної дії. Їх перевагами є високий ступінь роботизації завантажувально-розвантажувальних робіт та автоматизації процесу заморожування. Конвеєрний апарат складається з вантажного відсіку й відсіку повітроохолоджувачів. Його розташовують над вантажним відсіком або збоку від нього, так щоб забезпечити поперечний рух повітря стосовно напрямку руху конвеєра і продукту, що заморожується.

У вантажному відсіку цих апаратів продукт в формі заморожених блоків рухається за допомогою конвеєра у пульсуючому режимі або рівномірно. Довжину й швидкість руху конвеєра вантажного відсіку вибирають із умов досягнення продуктом необхідної за технологією кінцевої температури  $T_k = -20^{\circ}\text{C}$  за час переміщення від ділянки завантаження до ділянки вивантаження ремісничого хліба з апарата. Ці апарати підрозділяють на апарати з ланцюговим (зигзагоподібним або спіралеподібним) і стрічковим конвеєром. Як електропривод використовують АД з тиристорним регулятором швидкості та нечітким регулятором.

Потужність АД 1,5 кВт, число обертів  $n = 1500$  об/хв.

Для заморожування хліба будемо використовувати повітряний конвеєрний морозильний апарат, принципова схема якого представлена на рис. 3.

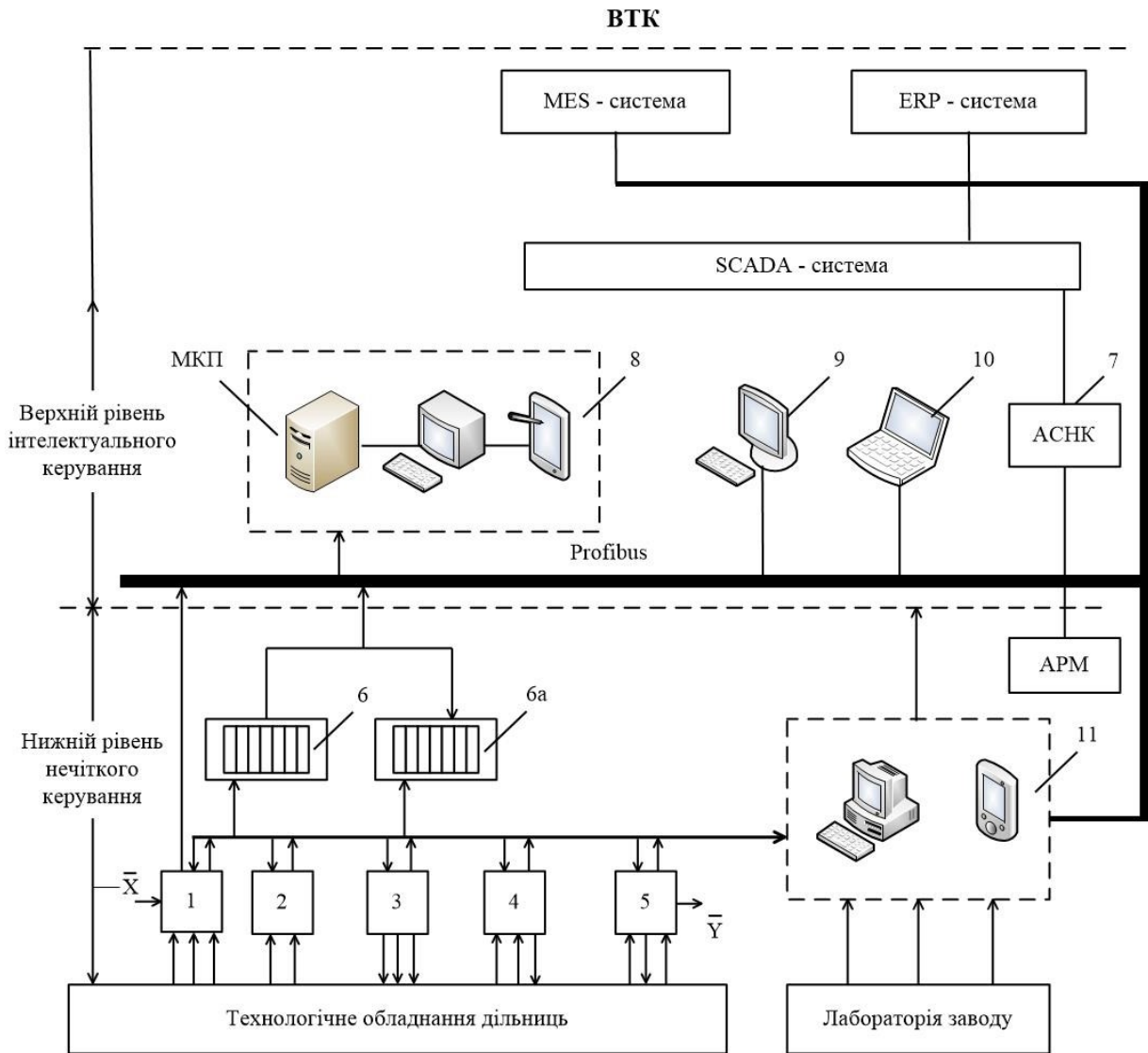


Рис. 1. Інтелектуальна система нечіткого керування виробництвом ремісничого хліба

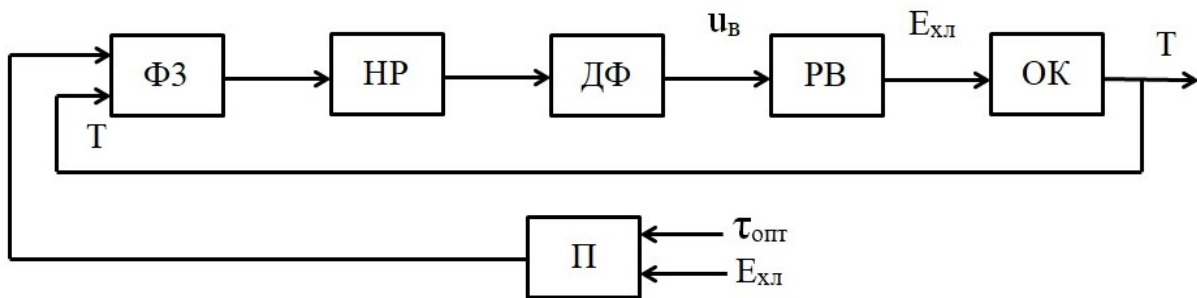


Рис. 2. Блок-схема фаззі-керування процесом заморожування ремісничого хліба: ФЗ – фаззифікатор, НР – нечіткий регулятор, ДФ – дефаззифікатор, РВ – регулюємий вентиль системи холодопостачання, ОК – об’єкт керування (конвеєрний холодильний апарат), П – система введення інформації

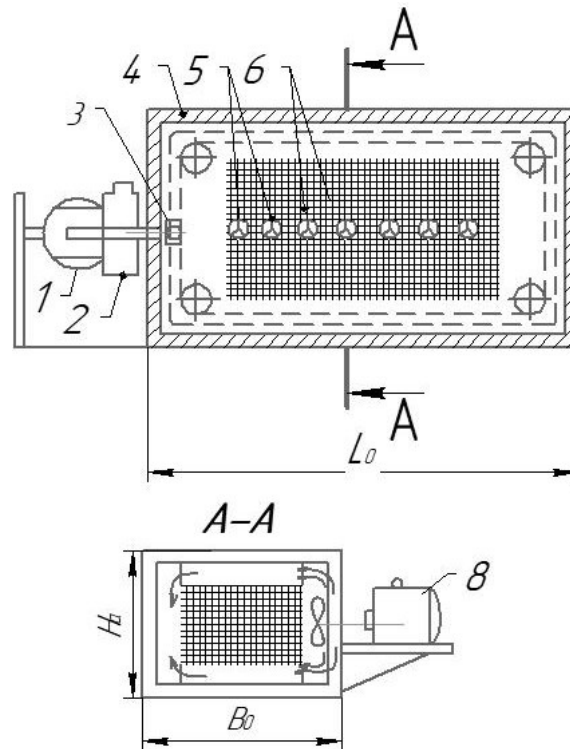


Рис. 3. Конвексний морозильний апарат:

- 1 – вузол завантаження й розвантажування; 2 – паровий ящик (скриня); 3 – блок-форма;
- 4 – ізований контур апарата; 5 – осеві вентилятори; 6 – оребрені секції повітроохолоджувача;
- 7 – вантажний конвекс; 8 – електродвигун

Об'єм хліба, що заморожується визначимо за формулою:

$$V = L * b * \delta, \text{ м}^3 \tag{1}$$

Тоді масу хліба, що заморожується, визначимо за формулою:

$$m = V * \rho, \text{ кг} \tag{2}$$

де  $\rho$  – щільність мороженого продукту.

Тривалість заморожування продукту  $\tau$  будемо визначати за формулою Планка:

$$\tau = \frac{q_3 \rho}{t_{kp} - t_c} \delta \left[ R \frac{\delta}{\lambda_x} + \rho \frac{1}{\alpha} \right] \tag{3}$$

де  $t_{kp}$  – криоскопічна температура, °C ;

$t_c$  – температура тепловідводячого середовища °C;

R і P – допоміжні коефіцієнти, що залежать від форми і співвідношення розмірів продукту, що заморожується;

$\lambda_x$  – теплопровідність продукту, що заморожується, Вт/МК;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні блок форми до повітря,  $\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \text{К}}$ ;

$q_x = i_1 - i_2$ , де  $i_1, i_2$  – ентальпія продукту, що заморожується при початковій і кінцевій температурі, Дж/кг.

Введемо поняття ефективних енергозатрат  $E_{xl}$  на заморожування ремісничого хлібу  $K_{en}$  :

$$K_{en} = \frac{E_{xl}}{(K_{як1} - K_{як2})}, \tag{4}$$

де  $K_{як1}$  – якість ремісничого хліба після процесу заморожування з параметрами  $\rho_{хлз}$  ;

$K_{як2}$  – якість тіста  $\rho_m$  .

$$K_{як} = \frac{\rho_m [1 + \beta_T (T_0 - T_3)] E_{міста}}{\rho_{хлз} [1 + \beta_{хл} (T_0 - T_3)] E_{хл}}, \tag{5}$$

де  $\rho_m, \rho_{хлз}$  – густина тіста і заморожуваного хліба відповідно;

$T_0, T_3$  – початкова температура ремісничого хліба і заморожуваного відповідно;

$\beta_T, \beta_{xл}$  – коефіцієнти, що комплексно характеризують силу борошна  $F_6$ , параметри запаху тіста, хліба та його рН.

Таким чином,  $K_{як}$  залежить від параметрів борошна, опари та тіста, температурних режимів, часу заморожування, теплопровідності продукту і представляє собою кількість енергії, витраченої на заморожування ремісничого хліба за допомогою конвеєрного морозильного апарату (КМА). На рис. 4 наведена зона нечіткої залежності  $E_{xл}$  від температури заморожування  $T_3$  в камері КМА.

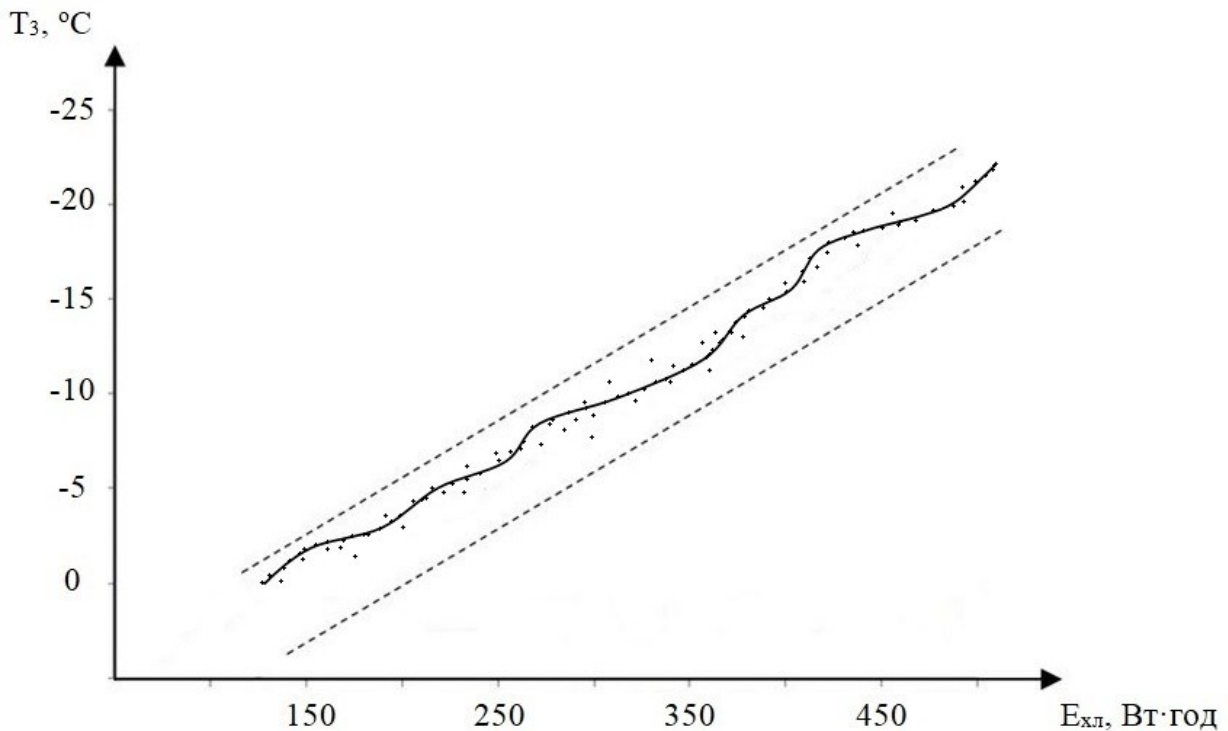


Рис. 4. Зона нечіткої залежності  $E_{xл}$  від температури заморожування  $T_3$

Так як залежність «температура-витрати електроенергії» мають нелінійний характер, то область кожної змінної розбивається на наступні нерівні інтервали  $\mu_1(t), \mu_2(t), \mu_3(t), \dots, \mu_n(t)$ . При цьому регулюєма величина  $T$  за допомогою фазіфікатора ( $\Phi_3$ ) перетворюється в логістичну зміну «Температура» з термами  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_A, T_K$ , яка подається на вхід нечіткого регулятора (НР).

Аналогічно, перетворенню зазнають параметри  $K_{як1}$  та  $\tau$  – тривалість замороження.

Керування КМА виконується наступною системою продукційних правил:

- 1) якщо  $T$  це  $T_1$  і  $K_{ЕН}$  – це  $K_{вис.}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_1 \in Q_{опт}$ ;
- 2) якщо  $T$  це  $T_2$  і  $K_{ЕН}$  – це  $K_{вис.}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_2 \in Q_{опт}$ ;
- 3) якщо  $T$  це  $T_3$  і  $K_{ЕН}$  – це  $K_{вис.}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_3 \in Q_3$ ;
- 4) якщо  $T$  це  $T_4$  і  $K_{ЕН}$  – це  $K_{сер.}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_4 \in Q_4$ ;
- .....
- 20) Якщо  $T$  це  $T_A$  і  $K_{ЕН}$  – це  $K_{низ.}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_K \in Q_K$ ;
- .....
- 36) Якщо  $T$  це  $T_K$  і  $K_{ЕН}$  – це  $K_{д. низ.}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_K \in Q_K$ ;

де  $K_{вис.}$  – «високе» значення коефіцієнта  $K_{як}$ ,  $K_{сер.}$  – «середнє» значення коефіцієнта  $K_{як}$ ,  $K_{низ.}$  – «низьке» значення коефіцієнта  $K_{як}$ ,  $K_{д. низ.}$  – «дуже низьке» значення коефіцієнта  $K_{як}$ ,  $Q_{опт.}$ ,  $Q_3$ ,  $Q_4, \dots$ ,  $Q_A$ ,  $Q_K$  – холодопродуктивність КМА.

Значення температури одержано за механізмом нечіткого виводу Е. А. Мамдані [8].

Лінгвістична змінна «якість»  $K_{як}$  виконується в другій системі продукційних правил:

1. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як1}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_1$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт1}$ .
2. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як2}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_2$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт2}$ .
3. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як3}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_3$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт3}$ .
4. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як4}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_4$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт4}$ .
5. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як5}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_5$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт5}$ .
6. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як6}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_6$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт6}$ .
7. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як7}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_7$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт7}$ .
8. Якщо  $K_{як}$  – це  $K_{як8}$ , то  $E_{xл}$  – це  $E_8$ , а  $\tau$  –  $\tau_{опт8}$ .

9. Якщо  $K_{\text{як}} - \text{це } K_{\text{як}9}$ , то  $E_{\text{хл}} - \text{це } E_9$ , а  $\tau - \tau_{\text{опт}9}$ .

Ці дві системи продукційних правил складені таким чином, що в кожному момент часу спрацює лише одне правило в кожній із систем.

Дослідження розробленої нечіткої моделі керування з метою визначення частоти спрацювання правил й коректності складання системи нечітких продукційних правил виконано на імітаційній моделі конвеєрного морозильного апарату. Під коректністю у нашому випадку будемо розуміти систему нечітких правил, в якій в будь-який момент часу лише одне правило має істинно умовну частину [8, 9].

За допомогою роботи імітаційної моделі в режимі реального часу визначався порядок розташування продукційних правил, який забезпечує найбільш швидку дію регуляторів нечіткого керування РВ і швидкістю конвеєра. Ці дані використовувались для реалізації системи нечіткого керування в пакеті програм SIMATIC Manager V 5.4. Пакет включає в себе декілька підпрограм для роботи із контролерами SCADA-системи фірми Siemens [10].

На рис. 5 наведено результати імітаційного моделювання, а саме криві перехідного процесу витрат  $Q$ : холодопродуктивності ( $Q \in E_{\text{хл}}$ ) від тривалості заморожування  $\tau$  у випадку ПД-регулятора 1 та нечіткого регулятора 2. Внаслідок значних коливань температури в КМА і якості ремісничого хліба і високих вимог до точності стабілізації температури заморожування ( $T_3=20^\circ\text{C}\pm 0,05\%$ ) ремісничого хліба при використанні ПД-регуляторів ефективність заморожування технологічного процесу знижується, внаслідок чого збільшуються енерговитрати на 10-12% у порівнянні з енергозатратами (при підтримуванні  $=20^\circ\text{C}$ ) в системі нечіткого керування процесом заморожування ремісничого хліба.

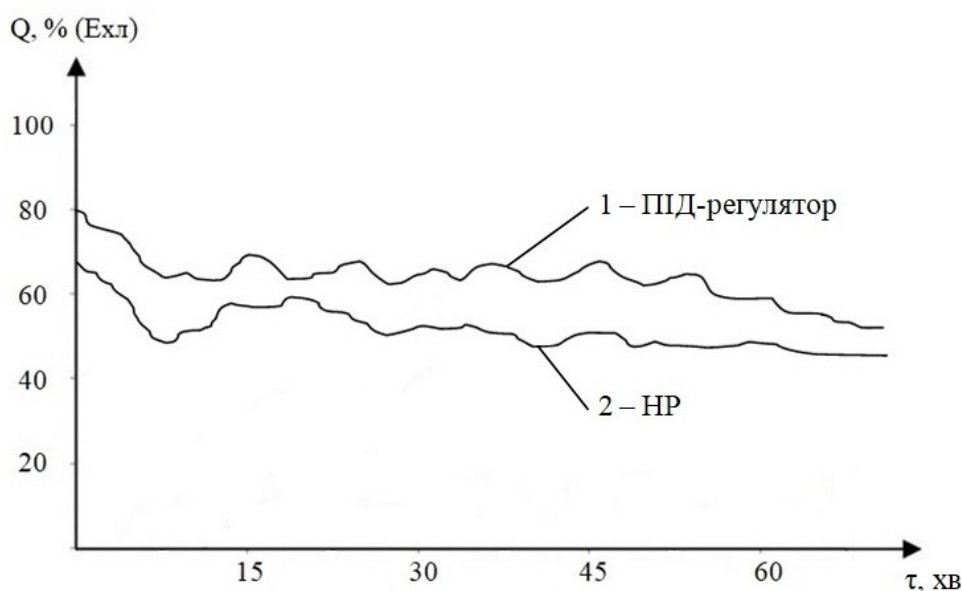


Рис. 5. Графіки залежності витрат холодопродуктивності  $Q$  ( $E_{\text{хл}}$ ) від часу заморожування ремісничого хліба

### Висновки

Запропоновано принципи побудови автоматизованої системи нечіткого керування оптимізацією енергії холодоносія в системі холодопостачання конвеєрного морозильного апарату, призначеного для заморожування ремісничого хліба та збереження його якості при варіації параметрів сировини, побудованих на даних, одержаних в режимі реального часу. Новизна розробленої системи автоматизованого процесу заморожування ремісничого хліба полягає в тому, що вона побудована на базі нечіткого регулятора з лінгвістичним зворотним зв'язком і автоматичною модифікацією системи продукційних правил. Така система дозволяє, у порівнянні з традиційними ПД-регуляторами, зменшити на 10-12% енергозатрати на виробництво 1 тони хліба шляхом зниження часу відгуку програми на зміну енерговитрат у виробництві продукції із заданими параметрами продуктивності та якості, а також робочих характеристик заморожування в розробленій інтелектуальній системі керування виробництвом ремісничого хліба,

За допомогою імітаційної моделі заморожування хліба доведено, що автоматизована система виробництва ремісничого хліба з нечітким керуванням і динамічним налагодженням системи продукційних правил дозволяє стабілізувати задані параметри заморожування хліба з похибкою  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , а її швидкодія зменшує час заморожування продукту на 15-16 %, завдяки чому забезпечує більш високий рівень якості цифрового керування.

### Література

1. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів : монографія / Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Возняк А. В. [та ін.] ; за редакцією В. П. Хорольського. – Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2019. – 204 с. – ISBN 978-617-7784-12-7.



2. Хорольський Валентин Петрович. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія / В. П. Хорольський, О. В. Хорольська, І. П. Діанов ; за редакцією В. П. Хорольського та О. Б. Чернеги. – Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2020. – 564 с. - ISBN 978-617-7784-30-1.
3. Гончаренко Б. М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : Підручник / Б. М. Гончаренко, А. П. Ладанюк. – К. : НУХТ, 2014. –530 с. – ISBN 978-966-612-163-2.
4. Швед С. М. Системний аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів / С. М. Швед, І. В. Ельперін // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 613(60) – С. 44-46.
5. Сильчук Т. А. Дослідження біотехнологічних властивостей тістових напівфабрикатів / Т. А. Сильчук , В. І. Дробот // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 210-215.
6. Якшаров Б. П. Справочник механика по холодильным установкам / Б. П. Якшаров, И. В. Смирнов. –Л. : Агропромиздат. – 1989. – 312 с. – ISBN 5-10-001468-7.
7. Большаков С. А. Холодильная техника и технология продуктов питания : Учебник / С. А. Большаков. – М. : Академия, 2003. – 304 с. – ISBN 5-7695-1229-6.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления : Учебник в 5-и тт. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 784 с. - ISBN: 5-7038-2193-2 (Т.5).
9. Штовба Сергей Дмитриевич. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с. – ISBN: 5-93517-359-x.
10. IEC 61131-7: 2000 Programmable Controllers – Part 7. Fuzzy control programming.

#### References

1. Intelektualni systemy upravlinnia vyrobnyctvom khllobulochnykh vyrobiv : monohrafiia / Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Vozniak A. V. [ta in.]; za redaktsiieiu V. P. Khorolskoho. – Kryvyi Rih : vydavets FOP Cherniavskiy D. O., 2019. – 204 s. – ISBN 978-617-7784-12-7.
2. Khorolskyi Valentyn Petrovych. Tsyfrovii systemy intelektualnoho upravlinnia pidpriemstvamy promyslovoho kompleksu rehionu : monohrafiia / V. P. Khorolskyi, O. V. Khorolska, I. P. Diianov ; za redaktsiieiu V. P. Khorolskoho ta O. B. Chernehy. – Kryvyi Rih : vydavets FOP Cherniavskiy D. O., 2020. – 564 s. - ISBN 978-617-7784-30-1.
3. Honcharenko B. M. Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv kharchovykh tekhnolohii : Pidruchnyk / B. M. Honcharenko, A. P. Ladaniuk. – K. : NUKhT, 2014. –530 s. – ISBN 978-966-612-163-2.
4. Shved S. M. Systemnyi analiz tekhnolohichnoho protsesu vyrobnyctva khllobulochnykh vyrobiv / S. M. Shved, I. V. Elperin // Skhidno-yevropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii. – 2012. – № 613(60) – S. 44-46.
5. Sylchuk T. A. Doslidzhennia biotekhnolohichnykh vlastyvopei tistovykh napivfabrykativ / T. A. Sylchuk , V. I. Drobot // Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 210-215.
6. Yaksharov B. P. Spravochnik mehanika po holodilnym ustanovkam / B. P. Yaksharov, I. V. Smirnov. –Л. : Агропромиздат. – 1989. – 312 с. – ISBN 5-10-001468-7.
7. Bolshakov S. A. Holodilnaya tehnik i tehnologiya produktov pitaniya : Uchebnik / S. A. Bolshakov. – М. : Akademiya, 2003. – 304 s. – ISBN 5-7695-1229-6.
8. Metody klassicheskoy i sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravleniya : Uchebnik v 5-i tt. 2-e izd., pererab. i dop. Т. 5. Metody sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravleniya / Pod red. K. A. Pupkova, N. D. Egupova. – М. : Izdatelstvo MGТУ im. N. E. Bauman, 2004. – 784 s. - ISBN: 5-7038-2193-2 (Т.5).
9. Shtovba Sergej Dmitrievich. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB / С. D. Shtovba. – М.: Goryachaya liniya – Telekom, 2007. – 288 s. – ISBN: 5-93517-359-x.
10. IEC 61131-7: 2000 Programmable Controllers – Part 7. Fuzzy control programming.

Рецензія/Peer review : 23.01.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.

## БАЗА ФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ НИТКИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ

*Проектування нових та удосконалення існуючих технологічних процесів переробки ниток на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості потребує визначення зміни відносного натягу по зонах заправки нитки. Виконання цієї складної задачі повинно базуватися на використанні спеціально розроблених комп'ютерних програм. Враховуючи специфіку переробки ниток на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості, при визначенні відносного натягу в кожній окремій зоні, необхідно використовувати алгоритм рекурсії, коли вихідний натяг нитки з попередньої зони буде являтися вхідним для наступної зони. Формування бази фрикційних властивостей сировини що переробляється на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості, з урахуванням матеріалу напрямної, дозволить підвищити точність визначення зміни відносного натягу по зонам при використанні комп'ютерної програми. База фрикційних властивостей комп'ютерної програми для визначення натягу нитки при реалізації алгоритму рекурсії формувалася для натуральних та синтетичних комплексних ниток та пряжі у вигляді багатовимірного масиву.*

*Ключові слова:* база фрикційних властивостей, комп'ютерна програма, натяг, нитка, алгоритм рекурсії.

V.YU. SHCHERBAN, A.K.PETKO, O.Z.KOLISKO, Y.YU. SHCHERBAN, M.I. KOLISKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

### BASE OF FRICTIONAL PROPERTIES OF A COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINATION OF THREAD TENSION WHEN IMPLEMENTING A RECURSION ALGORITHM

*The design of new and improvement of existing technological processes of thread processing on technological machines of light and textile industry requires the determination of the change of relative tension in the areas of thread filling. This difficult task must be based on the use of specially designed computer programs. Given the specifics of thread processing on technological machines of light and textile industry, when determining the relative tension in each zone, it is necessary to use a recursion algorithm, when the output thread tension from the previous zone will be the input for the next zone. The increase in tension in the areas of thread filling is explained by its interaction with the guides in the form of a cylinder and a torus, tensioning devices, compensators, thread break monitoring devices. Mathematical support of a computer program requires the development of models of these devices, taking into account the real physical and mechanical properties of complex threads and yarns and their real geometric and structural parameters. The main factor that affects the increase in thread tension is the force of friction. It characterizes the frictional properties of the threads and the conditions of their interaction with the guides in the form of a cylinder and a torus, tensioning devices, compensators, devices for monitoring the breakage of the threads. The coefficient of friction between the thread and the guide determines the value of the relative increase in tension in each zone depending on the type of materials of the thread and the guide. Formation of the base of frictional properties of raw materials processed on technological machines of light and textile industry, taking into account the guide material, will increase the accuracy of determining the change in relative tension in the zones when using a computer program. The difficulty of determining the coefficient of friction of the thread when it interacts with the guide surface in the form of a cylinder and torus is explained by the fact that it is not a constant value, but depends on the tension of the thread to the guide, the radius of curvature of the guide surface. To determine it, a combined method was used, in which the tension of the thread after the guide was experimentally determined, after which the coefficient of friction was determined according to known dependences. The base of friction properties of a computer program for determining the tension of the thread in the implementation of the recursion algorithm was formed for natural and synthetic complex threads and yarns in the form of a multidimensional array. A characteristic feature of the computer program is the ability to constantly update the database of friction properties for new types of thread.*

*Keywords:* friction properties base, computer program, tension, thread, recursion algorithm..

### Постановка проблеми

Проектування нових та удосконалення існуючих технологічних процесів переробки ниток на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості потребує визначення зміни відносного натягу по зонах заправки нитки. Виконання цієї складної задачі повинно базуватися на використанні спеціально розроблених комп'ютерних програм з використанням алгоритму рекурсії. Формування бази фрикційних властивостей сировини що переробляється на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості, з урахуванням матеріалу напрямної, дозволить підвищити точність визначення зміни відносного натягу по зонам при використанні комп'ютерної програми.

### Аналіз джерел

Удосконалення існуючих технологічних процесів переробки ниток призведе до зменшення простоїв машин текстильної та легкої промисловості, які виникають при обриві нитки. Це негативно впливає на продуктивність машин текстильної та легкої промисловості, зменшує якість продукції що випускається [1, 8]. Мінімізація натягу в кожній зоні лінії заправки нитки дозволить зменшити ймовірність обриву нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів з позиції підвищення продуктивності технологічних машин та якості продукції що випускається [2, 5-11]. Математичне забезпечення комп'ютерної програми вимагає розробки моделей вказаних пристроїв з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей комплексних ниток та пряжі та їх реальних геометричних та конструктивних параметрів. Основним чинником, який впливає на зростання натягу нитки є сила тертя. Вона характеризує фрикційні властивості ниток та умови їх взаємодії з напрямними у формі циліндру та тора, пристроями для натягу, компенсаторами, пристроями контролю обриву ниток [10, 11]. Коефіцієнт тертя між ниткою та

напрямною визначає величину відносного зростання натягу в кожній окремій зоні в залежності від виду матеріалів самої нитки та напрямної. Формування бази фрикційних властивостей сировини що переробляється на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості, з урахуванням матеріалу напрямної, дозволить підвищити точність визначення зміни відносного натягу по зонам при використанні комп'ютерної програми. Складність визначення коефіцієнту тертя нитки при її взаємодії з напрямною поверхнею у формі циліндру та тора пояснюється тим, що він не є сталою величиною, а залежить від величини натягу нитки до напрямної, радіусу кривизни напрямної поверхні. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення існуючих технологічних процесів переробки ниток на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості [3, 4, 11].

Розробка та удосконалення спеціальних комп'ютерних програм [10] для визначення натягу в кожній зоні лінії заправки нитки машин текстильної та легкої промисловості дозволяє оперативно визначати необхідні технологічні параметри, провадити корегування, як самої структури так і складових компонентів системи подачі нитки на технологічних машинах для отримання мінімально необхідного натягу [2, 5-9].

**Метою роботи є:** формування бази фрикційних властивостей сировини що переробляється на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості, з урахуванням матеріалу напрямної.

#### Виклад основного матеріалу

На головній формі комп'ютерної програми розташовані два компоненти для обрання матеріалу сировини N2: TMenuItem (рис.1а) та матеріалу циліндричної напрямної N42: TMenuItem (рис.1б). Процедура procedure TForm2.N2Click забезпечує обрання виду сировини: процедура procedure TForm2.N28Click забезпечує введення даних для бавовняної пряжі; процедура procedure TForm2.N29Click для вовняної пряжі; процедура procedure TForm2.N36Click для шовкової нитки; процедура procedure TForm2.N37Click для віскозної нитки; процедура procedure TForm2.N38Click для капронової комплексної нитки; процедура procedure TForm2.N39Click для лавсанової нитки; процедура procedure TForm2.N40Click для льняної нитки; процедура procedure TForm2.N30Click для капронової монопнитки.

Реалізація procedure TForm2.N42Click дозволяє здійснювати обрання матеріалу циліндричної напрямної. Процедура procedure N43Click(Sender: TObject) здійснює обрання з бази фрикційних властивостей даних для сталевій циліндричній напрямній. Процедура procedure N44Click(Sender: TObject) здійснює обрання з бази фрикційних властивостей даних для керамічної циліндричної напрямної.

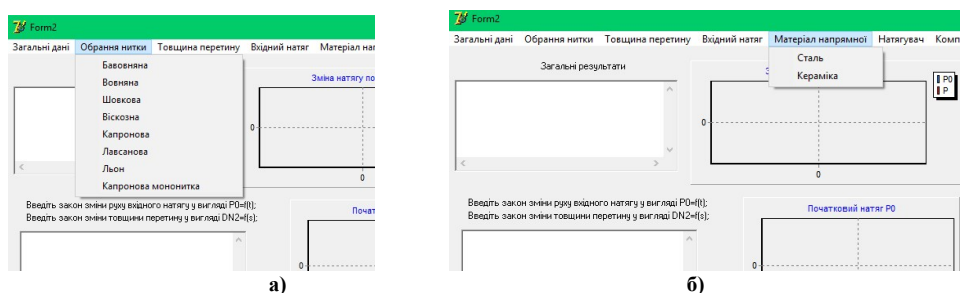


Рис.1. Компоненти головного меню MainMenu1: а) TMainMenu модуля unit Unit2: N5: TMenuItem; б) N6: TMenuItem, N7: TMenuItem

Послідовність виконання процедур наступна. На першому етапі обирають матеріал сировини – процедура procedure TForm2.N2Click. На другому етапі, при виконанні процедури procedure N7Click(Sender: TObject) обирається вид взаємодії нитки з циліндричною напрямною: процедура procedure TForm2.N26Click відповідає випадку з урахуванням радіального охоплення; процедура procedure TForm2.N27Click відповідає випадку без радіального охоплення. На третьому етапі відбувається реалізація procedure TForm2.N42Click.

Складність визначення коефіцієнту тертя нитки при її взаємодії з напрямною поверхнею у формі циліндру та тора пояснюється тим, що він не є сталою величиною, а залежить від величини натягу нитки до напрямної, радіусу кривизни напрямної поверхні. Для його визначення в роботі використовувався комбінований метод, при якому експериментально визначався натяг нитки після напрямної, після чого за відомими залежностями визначався коефіцієнт тертя. Для реалізації експериментальної частини в роботі був реалізований ортогональний план активного експерименту для трьох факторів

$$P_{i+1} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (1)$$

$$x_1 = \frac{P_i - P_{0i}}{h_1}, \quad x_2 = \frac{R_i - R_{0i}}{h_2}, \quad x_3 = \frac{\varphi_{Pi} - \varphi_{0Pi}}{h_3},$$

де  $P_{i+1}$  - натяг нитки після напрямної;  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  - коефіцієнти в рівнянні регресії;  $P_i$  - натяг нитки до циліндричної напрямної;  $R_i$  - радіус циліндричної напрямної;  $\varphi_{Pi}$  - кут охоплення ниткою напрямної;  $P_{0i}, R_{0i}, \varphi_{0Pi}$  - значення параметрів в центрі експерименту;  $h_1, h_2, h_3$  - рівні зміни відповідних факторів.

Коефіцієнт тертя  $\mu_j$ , с урахуванням деформації в зоні контакту, можна визначити з наступного рівняння [5, 10, 11]

$$\mu_j = \frac{1}{\varphi_{P_i}} \ln \left[ \frac{R_i}{(R_i + r_j)} \left( \frac{P_{i+1}}{P_i} - 1 \right) + 1 \right] \quad (2)$$

де  $r_j$  – радіус перетину обраної пряжі чи комплексної нитки.

Спільно вирішуючи рівняння (1) та (2) була сформована база фрикційних властивостей комплексних ниток та пряжі. В таблиці 1 представлений фрагмент бази фрикційних властивостей при використанні сталеві циліндричної напрямної.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів тертя нитки по сталевій циліндричній напрямній

Натяг, сН	Бавовняна пряжа 72Т			Вовняна пряжа 89,7Т			Віскозна штапельна пряжа 93,5Т			Поліамідна комплексна нитка 84Т		
	Радіус напрямної, мм			Радіус напрямної, мм			Радіус напрямної, мм			Радіус напрямної, мм		
	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0
10	0.143	0.145	0.149	0.104	0.109	0.114	0.126	0.127	0.131	0.135	0.141	0.148
20	0.152	0.145	0.146	0.110	0.107	0.110	0.140	0.128	0.128	0.142	0.136	0.140
30	0.164	0.146	0.145	0.118	0.107	0.108	0.154	0.131	0.128	0.152	0.136	0.136

### Висновки

Розроблена методика та сформована база фрикційних властивостей сировини що переробляється на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості, з урахуванням матеріалу напрямної. Це дозволило підвищити точність визначення зміни відносного натягу по зонам при використанні комп'ютерної програми.

Складність визначення коефіцієнту тертя нитки при її взаємодії з напрямною поверхнею у формі циліндру та тора пояснюється тим, що він не є сталою величиною, а залежить від величини натягу нитки до напрямної, радіусу кривизни напрямної поверхні. Для його визначення в роботі використовувався комбінований метод, при якому експериментально визначався натяг нитки після напрямної, після чого за відомими залежностями визначався коефіцієнт тертя. База фрикційних властивостей комп'ютерної програми для визначення натягу нитки при реалізації алгоритму рекурсії формувалася для натуральних та синтетичних комплексних ниток та пряжі у вигляді багатовимірного масиву. Характерною особливістю комп'ютерної програми є можливість постійно доповнювати базу фрикційних властивостей для нових видів нитки.

### Література

1. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.- 2017.- №1(245). - с.83-86.
2. Слізков А.М., Щербань В.Ю., Кизимчук О.П. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. (Ткацьке, трикотажне та неткане виробництво): підручник / А.М.Слізков, В.Ю.Щербань, О.П.Кизимчук. – К.:КНУТД, 2018. – 276 с.
3. Scherban V. Interaction yarn guide surface/V.Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.- Number 3. – pp. 10-15.
4. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягачів текстильних машин/ В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько// Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.- 2016.-№6(243). - с.18-21.
5. Щербань В.Ю., Волков О.И., Щербань Ю.Ю. Математические модели в САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности. – К.: КНУТД, 2003. - 600 с.
6. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner/V. Scherban, N.Murza, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko //Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des - 2016. – Volume 10.- Number 2. – pp. 18-23.
7. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile /V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova //Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June - 2016. – Volume 5.- Number 3. – pp. 23-27
8. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface/V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – pp. 22-26.
9. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі/ В.Ю.Щербань, В.Ю.Калашник, О.З.Колиско, М.І.Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). - С.25-29.

10. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – K.: Education of Ukraine, 2019. – 902 p.

11. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – K.: Education of Ukraine, 2017. – 745 p.

#### References

1. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2017.Volume 245. Issue 1. pp.83-86.
2. Slizkov AM, Shcherban V.Yu., Kizimchuk OP Mechanical technology of textile materials. Part II. (Weaving, knitted and non-woven production): textbook / A.M. Slizkov, V.Y. Shcherban, O.P. Kyzymchuk. - K.: KNUTD, 2018. - 276 p.
3. Scherban V. Interaction yarn guide surface/V.Scherban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.- Number 3. – pp. 10-15.
4. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Comparativе analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2016.Volume 243. Issue 6. pp.18-21.
5. Shcherban V.Yu., Volkov O.I., Shcherban Yu.Yu. Mathematical models in CAD equipment and technological processes of light and textile industries. - K.: KNUTD, 2003. - 600 p.
6. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner/V. Scherban, N.Murza, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko //Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des - 2016. – Volume 10.- Number 2. – pp. 18-23.
7. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile /V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova //Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June - 2016. – Volume 5.- Number 3. – pp. 23-27
8. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface/V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – pp. 22-26.
9. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I.. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2015.Volume 223. Issue 2. pp.25-29.
10. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – K.: Education of Ukraine, 2019. – 902 p.
11. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – K.: Education of Ukraine, 2017. – 745 p.

Рецензія/Peer review : 19.02.2021 p.

Надрукована/Printed :10.03.2021 p.

---

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

**Повні вимоги до оформлення рукопису**  
**[http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page\\_id=37](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page_id=37)**

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,  
протокол № 8 від 25.02.2021 р.

Підп. до друку 10.04.2021 р. Ум.друк.арк. 27,37 Обл.-вид.арк. 24,92  
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.  
Наклад 100, зам. № \_\_\_\_\_

---

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого  
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”  
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету  
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63