

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

4.2020

---

# ВІСНИК

**Хмельницького**

**національного**

**університету**

*Том 1*

**Технічні науки**

---

**Technical sciences**

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2020, Issue 4, Volume 287, Part 1

Хмельницький

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

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)  
Категорія «Б», РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019

*Засновано в липні 1997 р.*

*Виходить 6 разів на рік*

---

**Хмельницький, 2020, № 4, Том 1 (287)**

---

**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=aUP9OYAAAAJ">http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&amp;user=aUP9OYAAAAJ</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>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., 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., Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібєкова Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокати́й Р.В., 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 № 4 від 30.10.2020 р.**

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

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

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, 2020  
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2020

## ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,  
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА

<b>К.Ю. БОБРОВНІКОВА, Д.О. ДЕНИСЮК</b> МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ ТА ПОВЕДІНКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ .....	7
<b>Є.Г. ГНАТЧУК, А.В. ГОРОШКО, В.Ю. ЧЕРНЕЦЬКА</b> ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ СУРОГАТНОГО МАТЕРИНСТВА НА ОСНОВІ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВИХ ПІДСТАВ .....	12
<b>П.О. ГРИЦИШИН, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК</b> ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ СЛІВ ПІСЕНЬ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ .....	17
<b>М.С. ГРИЦЮК, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК</b> ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПЛАНУВАННЯ НАЙКРАЩОГО ШЛЯХУ ДЛЯ ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА .....	22
<b>Н.М. ЗАЩЕПКІНА, К.О. МЕШКОВА</b> ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ МОНІТОРИНГУ ХВОРИХ НА ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ .....	28
<b>А.С. КАШТАЛЬЯН, О.С. САВЕНКО</b> ПОКРАЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА МОДЕЛЬ АНТИВІРУСНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРИМАНОК У КОРПОРАТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ .....	33
<b>С.М. ЛИСЕНКО, Т.М. КИСІЛЬ, Ю.О. НІЧЕПОРУК, А.В. ГОРОШКО</b> МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРЗАГРОЗ ТА ШПЗ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ САМОАДАПТИВНОСТІ .....	39
<b>Ю.Б. МИХАЙЛЯК, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК</b> ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗУМНОГО СВІТЛОФОРА ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ТРАФІКУ .....	44
<b>Н.М. ЗАЩЕПКІНА, К.В. ЛУЦЕНКО</b> ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФЕСІЇ НА ОСНОВІ ТЕСТУ АМТХАУЕРА .....	50
<b>В.М. ПРИШЛЯК, І.М. КУПЧУК, А.М. ДІДИК, В.М. КУПЧУК</b> СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМ ВІДДАЛЕНОГО АДМІНІСТРУВАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ СТУДЕНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ .....	56
<b>А.П. САМІЛА, О.В. ГРЕСЬ, Т.А. КАЗЕМІРСЬКИЙ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМНИХ РІШЕНЬ АМПЛІТУДНИХ ДЕМОДУЛЯТОРІВ АВТОДИННИХ СПІН-ДЕТЕКТОРІВ .....	63
<b>Т.В. СІЧКО, І.І. РИБАК</b> СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СТРУКТУР .....	70

<b>Ю.С. СОКОЛАН, О.В. РОМАНШИНА</b> АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НАВЧАННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ З ПИТАТЬ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	75
<b>В. ЧИГІНЬ, М. ЧЕРНЕНКО</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОПЕРЕСЛІДУВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ .....	84
<b>Г.І. РАДЕЛЬЧУК, М.І. ХОРОШУН</b> КОНЦЕПЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ПЛАТІЖНОЇ СИСТЕМИ З ВЛАСНОЮ ЦИФРОВОЮ ВАЛЮТОЮ НА БАЗІ БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМИ ETHEREUM .....	89

## МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<b>І.І. КОВТУН, С.А. ПЕТРАЩУК, Ю.М. БОЙКО, Б.О. ПОГОРІЛИЙ</b> НЕРУЙНІВНА ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ .....	94
<b>Д.А. МАКАТБОРА</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ ПРИ ПОЗДОВЖНЬОМУ РІЗАННІ МАТЕРІАЛУ РИФЛЕНИМ НОЖЕМ З ОДНОСТОРОННЬОЮ ФОРМОЮ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ .....	100
<b>В.П. РОЙЗМАН, А.В. ГОРОШКО, С.А. ПЕТРАЩУК</b> РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯННЯ ФРЕДГОЛЬМА ДЛЯ РУХУ НЕЗРІВНОВАЖЕНОГО РОТОРА З ДИСКРЕТНИМИ МАСАМИ .....	107
<b>Н.О. КОСТЮК, А.І. ГОРДЕЄВ, В.П. НЕЗДОРОВІН</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ І ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ЕТАПИ ЇЇ ПРОЕКТУВАННЯ .....	112
<b>І.В. ДРАЧ</b> ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РІДИННОГО АВТОБАЛАНСУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ. РОЗРАХУНОК ЙОГО ПАРАМЕТРІВ .....	119
<b>М.Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ, І.В. ПАНАСЮК</b> СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО СЕМИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ .....	127
<b>V.D. KARAZEY, K.S. SOKOLAN</b> INSTALLATION DEVICE FOR FLAT COMPONENT PARTS .....	134
<b>В.В. СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРАЦЮВАННЯ НА ТРИЩИННОСТІЙКІСТЬ СТАЛЕЙ МОСТОВИХ КРАНІВ .....	138

## ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

<b>К.І. ГОРЯЩЕНКО, А.А. ТАРАНЧУК, Я.В. СУПРУНІЮК, О.В. ЦИРА</b> ЗАСТОСУВАННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ АЛГОРИТМІВ У СИСТЕМАХ ОБМЕЖЕНОЇ ПРОЦЕСОРНОЇ ПОТУЖНОСТІ .....	143
<b>О.І. ПОЛКАРОВСЬКИХ, І.В. ГУЛА</b> ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЦИФРО-АНАЛОГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРЯМИХ ЦИФРОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ ЧАСТОТИ.....	149
<b>С.Г. НАТРОШВІЛІ, Б.М. ЗЛОТЕНКО, Т.І. КУЛІК</b> СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ПОБУТОВИМ ЕЛЕКТРОБОЙЛЕРОМ .....	155

<b>О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК</b> ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТУНЕЛЬНО-РЕЗОНАНСНОГО ДЮДА .....	160
<b>О.В. ЧЕРМАЛИХ, Д.Д. МУГЕНОВ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ АМПЛІТУДИ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ З ЛАНКОЮ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ .....	168

## АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<b>Ю.М. БОЙКО, І.С. ПЯТІН, А.В. ЗАЄЦЬ</b> МОДЕЛІ СИСТЕМ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ .....	174
<b>В.С. ПЕТРУШАК</b> РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ .....	184
<b>П.Ф. РОБУЛЕЦЬ, Д.А. ВОВЧУК, С.Д. ГАЛЮК, Л.Ф. ПОЛІТАНСЬКИЙ</b> ПРИСТРІЙ МОДУЛЯЦІЇ АНАЛОГОВИХ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ ШЛЯХОМ НЕПЕРЕРВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КІЛЬЦЕВИХ РЕЗОНАТОРІВ .....	188
<b>М.О. СЛОБОДЯН, А.А. ТАРАНЧУК, В.С. ГАВРОНСЬКИЙ</b> ГЕНЕРУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ .....	192

## ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<b>С.С. КАМЕНЕЦЬ, В.В. ВАСЮТИНСЬКА</b> ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВІЗУАЛЬНОГО ДИЗАЙНУ ТА ПРОСТОРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ШКІРГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ .....	199
<b>А.І. БАБИЧ, А.В. ЗАГОРСЬКА, В.П. КЕРНЕСИ, О.А. ВУШТЕЙ</b> РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧИХ СУМОЧНИХ ВИРОБІВ В ЕКОСТИЛІ .....	205
<b>А.І. БАБИЧ, В.П. КЕРНЕСИ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ, ДЕКОРОВАНІХ ПЕТРИКІВСЬКИМ РОЗПИСОМ, У ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЗУТТЯ І АКСЕСУАРІВ .....	210
<b>А.І. БАБИЧ, В.В. ГОРБЕНКО</b> РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ МОЛОДІЖНИХ ПОЯСНИХ СУМОК В СТИЛІ «БАНАНКА» .....	217
<b>Л.М. БЕРЕЗІН</b> ІННОВАЦІЙНІ ТРЕНДИ ВИРОБНИКІВ ПАНЧІШНО-ШКАРПЕТКОВИХ АВТОМАТІВ НА ШЛЯХУ ДО INDUSTRY 4.0 .....	222
<b>Т.А. ДЗИКОВИЧ, А.О. ШЕПЕЛЯ</b> ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ ДИТЯЧОГО ТРИКОТАЖНОГО ОДЯГУ НА ОСНОВІ АНІМАЦІЙНОГО СЕРІАЛУ .....	227
<b>О.В. ПАХОЛЮК, Г.О. ПУШКАР, І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК</b> ТЕКСТИЛЬНА НАНОПРОДУКЦІЯ УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЕРТИЗИ .....	233
<b>Д.В. ПРИБЕГА, С.В. СМУТКО, М.Є. СКИБА, С.Ю. КОРСУН</b> ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНО РОЗГОРНУТОГО ЗОБРАЖЕННЯ .....	239

---

**В.О. ПРИВАЛА**

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ  
У ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ ВОВНЯНОЇ ПРЯЖІ НА ТЕКСТИЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ..... 248

**В.Ю. ЩЕРБАНЬ, О.З. КОЛИСКО, Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ, М.І. ШОЛУДЬКО, Г.В. МЕЛЬНИК**  
АЛГОРИТМІЧНІ ТА ПРОГРАМНІ КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНОГО ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ  
ДЛЯ ШАЙБОВОГО НАТЯГУВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКУРСІЇ ..... 252

# КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА

DOI 10.31891/2307-5732-2020-287-4-7-11

УДК 004.93

К.Ю. БОБРОВНИКОВА, Д.О. ДЕНИСЮК

Хмельницький національний університет

## МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ ТА ПОВЕДІНКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

У роботі представлено метод виявлення шкідливого програмного забезпечення шляхом аналізу мережного трафіку та поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах. Метод ґрунтується на класифікації множин API-викликів, вилучених з побудованих графів потоків керування для програмних додатків, та використовує аналіз DNS-трафіку комп'ютерної мережі. В якості класифікатора застосована комбінація глибокої нейронної та рекурентної нейронної мереж. Застосування розробленого методу дозволило підвищити достовірність виявлення шкідливого програмного забезпечення в комп'ютерних системах.

Ключові слова: шкідливе програмне забезпечення, комп'ютерні системи, достовірність виявлення, кібератака, мережний трафік.

K. BOBROVNIKOVA, D. DENYSIUK

Khmelnitskyi National University

## METHOD FOR MALWARE DETECTION BASED ON THE NETWORK TRAFFIC ANALYSIS AND SOFTWARE BEHAVIOR IN COMPUTER SYSTEMS

The paper presents a method for malware detection by analyzing network traffic and software behavior in computer systems. The method is based on the classification of API call sets extracted from the constructed control flow graphs for software applications, and based on the analysis of DNS traffic of the computer network. As a classifier a combination of deep neural network and recurrent neural network is used. The proposed method consists of two stages: the deep neural network and the recurrent neural network learning stage and the malware detecting stage. The steps of the malware detecting are: construction of a set of graphs of control flows for software applications in computer system; construction of the set of used APIs based on the set of graphs of control flows; construction of a set of frequencies of API on the basis of a set of graphs of control flows; construction of a set of API sequences based on a set of graphs of control flows; extraction of features from network DNS-traffic; construction of a test sample; processing a test sample using a deep neural network; processing a test sample using a recurrent neural network; combinations of malware detection results using a deep neural network and a recurrent neural network; malicious software removal. Experimental studies were carried out, the results of which showed that the use of a deep neural network makes it possible to obtain the reliability of malicious software detection at the level from 94.75 to 98.66 %, the use of a recurrent neural network – from 96.63% to 99.17 %. The combination of the results of the classification of deep and recurrent neural networks allows achieving the best results, in which the reliability of malicious software detection is at the level of 97.29 to 99.42 %. The usage of the developed method allowed to increase the reliability of malware detection in computer systems.

Keywords: malware, computer systems, detection efficiency, cyberattack, network traffic.

### Вступ

Останнім часом шкідливе програмне забезпечення (ШПЗ), таке як бекдори, бот-мережі, вимагачі, шпигунське програмне забезпечення, дропери, криптомайнери, трояни, рекламне програмне забезпечення стають все більш актуальною загрозою. Протягом минулих років третина всіх атак – від створення бот-мереж до викрадення банківських даних, вчинення клік-шахрайств чи загрози репутації – здійснювалась прихованими програмами. При цьому застосовуються як нові методи інфікування комп'ютерних систем (КС), так і перевірені схеми розповсюдження [1–3]. Тому метою роботи є підвищення достовірності виявлення ШПЗ в комп'ютерних системах шляхом розроблення методу їх виявлення.

### Пов'язані роботи

Сьогодні в наукових джерелах широко представлені різноманітні підходи до виявлення ШПЗ. Зокрема, в [4] запропоновано підхід для захисту пристроїв IoT від атак з локальних комп'ютерних систем. Підхід заснований на аналізі поведінки ШПЗ та застосовує методи глибокого навчання з використанням хмарних технологій. Для одержання інформації про поведінку шкідливих програм на основі аналізу API викликів здійснюється побудова графів поведінки. Для вилучення ознак з графів поведінки використовується нейронна мережа архітектури автокодувальник. В [5] запропоновано підхід виявлення ШПЗ, заснований на аналізі дозволів та намірів. З метою виявлення ШПЗ використовується декілька пов'язаних класифікаторів: таблиці рішень, багаточаровий перцептрон та дерева рішень для визначення таких оцінок, як середнє значення ймовірностей, добуток ймовірностей та більшість голосів. У роботі [6] представлено метод виявлення ШПЗ, який ґрунтується на аналізі журналів системних викликів. Результати експериментів із застосуванням методу показали високу точність виявлення. Проте важливим недоліком

методу є те, що він не враховує здатність деяких шкідливих програмних додатків ідентифікувати середовище типу пісочниці. В [7] запропонований підхід виявлення ШПЗ, що використовує глибоку згорткову нейронну мережу. Класифікація ШПЗ здійснюється на основі статичного аналізу необроблених послідовностей коду з дизасембльованих програм.

Запропонований в [8] метод для виявлення ШПЗ використовує набір ознак, таких як апаратне забезпечення, дозволи, компоненти програмного додатку, відфільтровані наміри, опкоди та рядки, що вилучаються із досліджуваних зразків. Ефективність підходу досліджено за допомогою ряду класифікаторів: ліс, що обертається, випадковий ліс, метод опорних векторів. В [9] розроблена система виявлення ШПЗ на основі статичного аналізу. Система функціонує в чотири етапи: (1) побудова графів API-викликів для кожної програми; (2) одержання послідовностей API-викликів, використовуючи унікальні вузли, та віднесення кожного виклику до певного класу, пакету чи сімейства; (3) моделювання поведінки програмного додатку шляхом побудови ланцюгів Маркова з послідовностей API-викликів; (4) класифікація додатка як нешкідливе або шкідливе програмне забезпечення на основі аналізу ймовірностей переходів, використовуваних в якості векторів ознак. В [10] розроблено систему, яка здійснює класифікацію програмних додатків на основі тріажу з урахуванням їх потенційного ризику. Для класифікації використано ймовірнісну модель, яка надає можливість прогнозування існування інформаційних потоків, та показник, що визначає значущість цих інформаційних потоків. Результати експериментів показали, що система здатна досить точно передбачити наявність інформаційних потоків шкідливих додатків і дозволяє досягти економії обчислювальних ресурсів.

Огляд літератури показав, що проблема виявлення ШПЗ є надзвичайно актуальною. Відомі методи виявлення ШПЗ демонструють високий рівень ефективності, але також мають високий показник хибних спрацювань. Загальним недоліком відомих підходів є потреба у великих обсягах обчислювальних ресурсів та те, що вони не здатні адаптивно реагувати на відомі та невідомі атаки, здійснені ШПЗ на комп'ютерні системи. Також розглянуті підходи мають деякі загальні недоліки, які полягають в ігноруванні упакованого ШПЗ та неможливості захистити пристрій від загроз нульового дня і шкідливих програм, здатних модифікувати себе.

#### **Метод виявлення шкідливого програмного забезпечення шляхом аналізу мережного трафіку та поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах**

Розглянемо основи методу виявлення шкідливого програмного забезпечення шляхом аналізу мережного трафіку та поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах.

Запропонований метод складається з двох етапів: етап навчання глибокої нейронної мережі та рекурентної нейронної мережі та етап виявлення ШПЗ. Сформулюємо основні кроки етапу навчання:

- 1) формування навчальної вибірки зі зразків шкідливого і нешкідливого ПЗ;
- 2) побудова множини графів потоків керування для ПЗ з навчальної вибірки;
- 3) побудова множини використовуваних API-викликів на основі множини графів потоків керування;
- 4) побудова множин частот здійснення API-викликів на основі множини графів потоків керування;
- 5) побудова множин послідовностей здійснення API-викликів на основі множини графів потоків керування;
- 6) вилучення ознак зі зразків мережного DNS-трафіку;
- 7) побудова навчальної вибірки для навчання глибокої нейронної та рекурентної нейронної мереж;
- 8) навчання глибокої нейронної та рекурентної нейронної мереж.

Сформулюємо кроки етапу виявлення ШПЗ:

- 1) побудова множини графів потоків керування для ПЗ в КС;
- 2) побудова множин використовуваних API-викликів на основі множини графів потоків керування;
- 3) побудова множин частот здійснення API-викликів на основі множини графів потоків керування;
- 4) побудова множин послідовностей здійснення API-викликів на основі множини графів потоків керування;

керування;

- 5) вилучення ознак з мережного DNS-трафіку;
- 6) побудова тестової вибірки;
- 7) оброблення тестової вибірки за допомогою глибокої нейронної мережі;
- 8) оброблення тестової вибірки за допомогою рекурентної нейронної мережі;
- 9) комбінування результатів виявлення шкідливого ПЗ за допомогою глибокої нейронної мережі та рекурентної нейронної мережі;
- 10) видалення шкідливого ПЗ.

З метою аналізу поведінки програмного забезпечення в КС в запропонованому методі використовується побудова та аналіз графів потоків керування програмних додатків. Граф потоку керування представляється у вигляді орієнтованого графу, який містить інформацію про складові частини програми та переходи між ними, при цьому враховуються безумовні переходи, розгалуження, цикли, виклики функцій та виключення. Граф потоку керування описує потоки керування, які можуть виникнути при виконанні програми, при цьому кожен API-виклик є вузлом графу. Отже, для кожного екземпляру програмного забезпечення будується граф потоку керування, і з кожного графу потоку керування вилучаються наступні множини API-викликів:

- 1) множина використовуваних API-викликів (які саме API-виклики здійснює додаток),  $S_u = \{API_i\}_{i=1}^N$ ,

де  $N$  – кількість різних API-викликів;



2) множина частот здійснення API-викликів (скільки разів здійснюється кожен API-виклик),

$$S_f = \{API_i, n_i\}_{i=1}^N, \text{ де } n_i - \text{кількість разів здійснення API-виклику};$$

3) множина послідовностей здійснення API-викликів (порядок здійснення API-викликів в часі),

$$S_s = \{API_k\}_{k=1}^M, \text{ де } M - \text{загальна кількість всіх здійснених API-викликів}.$$

Для побудови множин API-викликів на основі графів потоків керування використовується пошук в глибину (DFS).

З метою виявлення ШПЗ також залучається множина вилучених з DNS-трафіку ознак, що можуть свідчити про активність шкідливого програмного забезпечення в мережі (табл. 1).

Таблиця 1

**Множина ознак DNS-трафіку та діапазони значень,  
що можуть свідчити про активність ШПЗ в мережі**

№ з/п	Назва ознаки	Значення ознаки	Діапазон значень
1	$l_N$	Довжина запитуваного доменного імені $d$	$l_N \in [75, 255]$
2	$n_U$	Кількість унікальних символів в $d$	$n_U \in (27, 37]$
3	$e_N$	Ентропія $d$	$e_N \geq f_{Ebn}, f_{Ebn}$ – функція залежності ентропії від довжини поля, $n$ – основа кодування
4	$f_{UR}$	Використання рідко вживаних типів DNS-записів, які зазвичай не використовується типовим клієнтом (TXT, KEY, NULL тощо)	1
5	$n_{IP}$	Кількість IP-адрес, пов'язаних з $d$	$n_{IP} \in (5, \infty)$
6	$s_{IP}$	Середня дистанція між IP-адресами, пов'язаними з $d$	$s_{IP} \in (65535, \infty)$
7	$n_A$	Кількість A-записів, що відповідають $d$ , у вхідному DNS-повідомленні	$n_A \in (5, \infty)$
8	$s_A$	Середня дистанція між IP-адресами в множині A-записів для $d$ у вхідному DNS-повідомленні	$s_A \in (65535, \infty)$
9	$n_{UA}$	Кількість унікальних IP-адрес в множинах A-записів, що відповідають $d$ , у вхідних DNS-повідомленнях	$n_{UA} \in (8, \infty)$
10	$s_{UA}$	Середня дистанція між унікальними IP-адресами в множинах A-записів, що відповідають $d$ , у DNS-повідомленнях	$s_{UA} \in (65535, \infty)$
11	$n_D$	Кількість доменних імен, які спільно використовують IP-адресу, що відповідає $d$	$n_D \in [8, \infty]$
12	$t_{mod}, t_{med}, t_{aver}$	TTL-період, мода, медіана, середнє арифметичне значення	$t_{mod}, t_{med}, t_{aver} \in [0, 900]$
13	$f_s$	Ознака успішності DNS-запиту	0

З перерахованого набору ознак формуються вектори ознак, які є вхідними даними для класифікаторів. Результатом класифікації є приналежність ПЗ до одного з двох класів – шкідливе (1) або нешкідливе (0) програмне забезпечення.

**Експериментальні дослідження**

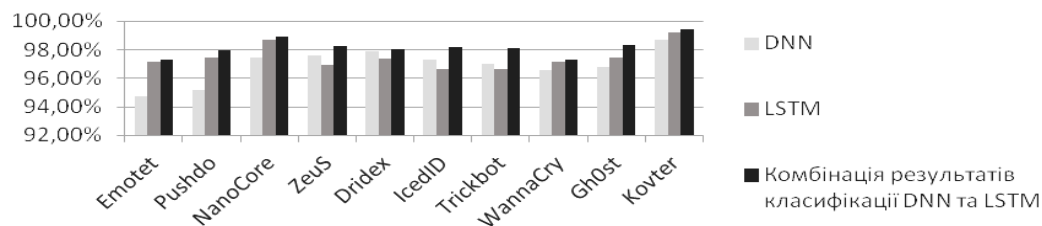
З метою визначення достовірності виявлення ШПЗ запропонованим методом було проведено ряд експериментів. Для формування навчальної та тестової вибірок було зібрано 12208 шкідливих додатків та зразків їх трафіку з відкритих джерел [11], також було використано 11961 зразок нешкідливого програмного забезпечення. Для тестування було використано 6203 шкідливих додатки та зразки їх трафіку та 5962 зразки нешкідливого ПЗ, а решта зразків були використані для навчання класифікаторів. В першому експерименті в якості класифікатора було використано глибоку нейронну мережу (Deep neural network, DNN), в другому – рекурентну нейронну мережу архітектури Long short-term memory, LSTM, а в третьому було скомбіновано результати класифікації обох нейронних мереж за допомогою бустингу. В якості вагових коефіцієнтів застосовано достовірності виявлення кожним класифікатором, а для обчислення остаточного результату – метод зваженої суми. Якщо результат класифікації перевищував порогове значення, то програмне забезпечення було класифіковане як шкідливе, а інакше – як нешкідливе ПЗ. В якості порогового значення встановлено величину, що дорівнює 0,5.

Результати проведених експериментів із застосуванням глибокої нейронної мережі, рекурентної нейронної мережі та комбінації результатів класифікації глибокої та рекурентної нейронних мереж подані в табл. 2 та на рис. 1, де  $TP$  (true positive) – істинно-позитивний результат класифікації, вірно класифіковані шкідливі зразки;  $TN$  (true negative) – істинно-негативний результат, вірно класифіковані нешкідливі зразки;  $FN$  (false negative) – хибно-негативний результат, шкідливі зразки, помилково класифіковані як нешкідливі;  $FP$  (false positive) – хибно-позитивний результат, нешкідливі зразки, помилково класифіковані як шкідливі;  $ACC$  (accuracy) – достовірність виявлення ШПЗ,  $ACC = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$ .

Таблиця 2

**Результати виявлення ШПЗ із застосуванням глибокої, рекурентної нейронних мереж та комбінації результатів класифікації глибокої та рекурентної нейронних мереж**

Назва ШПЗ	DNN					LSTM					Комбінація результатів класифікації DNN та LSTM				
	TP	TN	FN	FP	ACC	TP	TN	FN	FP	ACC	TP	TN	FN	FP	ACC
Dridex	592	593	25	1	97,85 %	592	587	25	7	97,36 %	602	585	15	9	98,02 %
Emotet	586	587	62	3	94,75 %	617	586	31	4	97,17 %	619	586	29	4	97,33 %
Gh0st	567	570	31	7	96,77 %	568	577	30	0	97,45 %	579	576	19	1	98,30 %
IcedID	590	594	29	4	97,29 %	590	586	29	12	96,63 %	599	596	20	2	98,19 %
Kovter	590	592	14	2	98,66 %	595	593	9	1	99,17 %	597	594	7	0	99,42 %
NanoCore	594	590	16	15	97,45 %	599	600	11	5	98,68 %	599	603	11	2	98,93 %
Pushdo	595	602	49	12	95,15 %	612	614	32	0	97,46 %	618	614	26	0	97,93 %
Trickbot	592	594	36	1	96,97 %	589	593	39	2	96,65 %	605	595	23	0	98,12 %
WannaCry	588	588	27	15	96,55 %	594	589	21	14	97,13 %	590	595	25	8	97,29 %
ZeuS	591	592	29	0	97,61 %	584	591	36	1	96,95 %	599	592	21	0	98,27 %



**Рис. 1. Результати виявлення ШПЗ із застосуванням глибокої нейронної мережі, рекурентної нейронної мережі та комбінації результатів класифікації глибокої та рекурентної нейронних мереж**

Результати проведених експериментів показали, що при застосуванні глибокої нейронної мережі було одержано достовірність виявлення ШПЗ на рівні від 94,75 до 98,66 %, при застосуванні рекурентної нейронної мережі – від 96,63 % до 99,17 %. При комбінації результатів класифікації глибокої та рекурентної нейронних мереж було одержано найкращий результат, за якого достовірність виявлення шкідливого програмного забезпечення є на рівні від 97,29 до 99,42 %.

**Висновки**

У роботі представлено метод виявлення ШПЗ шляхом аналізу мережного трафіку та поведінки програмного забезпечення в КС, який ґрунтується на класифікації множин використуваних АРІ-викликів, частот здійснення АРІ-викликів і послідовностей здійснення АРІ-викликів, вилучених з побудованих графів потоків керування для програмних додатків, а також ознак, вилучених з DNS-трафіку мережі. Наведено результати проведених експериментів, які показали, що при застосуванні комбінації результатів класифікації за допомогою глибокої та рекурентної нейронних мереж достовірність виявлення шкідливого програмного забезпечення є на рівні від 97,29 до 99,42 %. Отже, застосування розробленого методу дозволить підвищити достовірність виявлення ШПЗ в КС.

**Література**

1. McAfee Labs Threats Reports. Insights into malware, ransomware, and other cybersecurity threats from the McAfee threat research team. URL: <https://www.mcafee.com/enterprise/ru-ru/threat-center/mcafee-labs/reports.html>. – 2.07.2020.
2. 2020 State of Malware Report. URL: [https://resources.malwarebytes.com/files/2020/02/2020\\_State-of-Malware-Report.pdf](https://resources.malwarebytes.com/files/2020/02/2020_State-of-Malware-Report.pdf). – 2.07.2020.
3. Securelist. Statistics. URL: <https://statistics.securelist.com/en>. – 2.07.2020.
4. Xiao F. Malware detection based on deep learning of behavior graphs / F. Xiao, Z. Lin, Y. Sun, Y. Ma // Mathematical Problems in Engineering. – 2019.
5. Idrees F. Pindroid: a novel android malware detection system using ensemble learning methods / F. Idrees, M. Rajarajan, M. Conti, T. Chen, Y. Rahulamathavan // Computers & Security. – 2017. – Vol. 68. – P. 36–46.
6. Chaba S. Malware Detection Approach for Android systems Using System Call Logs / S. Chaba, R. Kumar, R. Pant, M. Dave // arXiv preprint arXiv:1709.08805. – 2017.
7. McLaughlin N. Deep android malware detection / N. McLaughlin, J. Martinez del Rincon, B. Kang // Proc. of the Seventh ACM on Conference on Data and Application Security and Privacy. – 2017. – P. 301–308.
8. Varsha M. Identification of malicious android app using manifest and opcode features / M. Varsha, P. Vinod, K. Dhanya // Journal of Computer Virology and Hacking Techniques. – 2016. – Vol. 13, Issue 2. – P. 125–138.
9. Onwuzurike L. MaMaDroid: Detecting Android Malware by Building Markov Chains of Behavioral Models / L. Onwuzurike, E. Mariconti, P. Andriotis, E. D. Cristofaro // ACM Trans. Priv. Sec. – 2019. – Vol. 22, No. 2. – P. 1–34.
10. Mirzaei O. Triflow: Triaging android applications using speculative information flows / O. Mirzaei,

---

G. Suarez-Tangil, J. Tapiador, J.M. de Fuentes // Proc. of the 2017 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security. – 2017. – P. 640–651.

11. Canadian Institute for Cybersecurity. Botnet dataset. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/botnet.html> – 5.12.2019.

Рецензія/Peer review : 15.10.2020 р.

Надрукована/Printed :02.11.2020 р.

## ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ СУРОГАТНОГО МАТЕРИНСТВА НА ОСНОВІ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВИХ ПІДСТАВ

Наразі в Україні існує потреба в проектуванні та розробленні мультидисциплінарних систем підтримки прийняття рішень (СППР) для медичної та інших дотичних до неї галузей, наприклад, для галузі медичного права, зокрема, СППР для галузі правового регулювання сурогатного материнства. Така СППР зможе забезпечити лікарів від потенційно неправильних рішень за рахунок врахування при формуванні рішення всієї наявної інформації. Для проектування такої СППР спочатку слід організувати процес підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав, що і є метою даного дослідження. У статті вперше розроблені правила та метод підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав, які ґрунтуються на врахуванні вимог, наданих експертами галузі медичного права щодо процедури сурогатного материнства. Такі правила та метод формалізують процес прийняття рішень в галузі правового регулювання сурогатного материнства та є теоретичним підґрунтям для розроблення та проектування СППР в галузі правового регулювання сурогатного материнства.

Ключові слова: сурогатне материнство, цивільно-правове регулювання, інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (СППР), достатність інформації, підтримка прийняття рішень.

Y.H. HNATCHUK, A.V. HOROSHKO, V.Y. CHERNETSKA

Khmelnitskyi National University

## SUPPORT OF MAKING THE DECISION ABOUT SURROGACY POSSIBILITY ON THE BASIS OF CIVIL LAW GROUNDS

Currently in Ukraine there is a need to design and develop decision support systems for the medical industry, which can significantly increase the efficiency of this industry and protect physicians from potentially wrong decisions by taking into account all available information when forming a decision. Even more important, but also more complex to design and develop, are multidisciplinary medical DSS – for example, decision support system for the field of medical law, in particular, decision support system for the legal regulation of surrogacy. To design such a decision support system, it is necessary to organize a process to support decision-making on the possibility of surrogacy on the basis of civil law, which is the purpose of this study. To develop a decision support system that will bring real benefits to users, it is necessary to find out what tasks it should solve and what properties it should have. To identify these needs, as well as to identify the content of the requirements should analyze the subject area. In this paper the analysis of civil law grounds for surrogacy was conducted. The paper for the first time develops rules and methods of decision support for the possibility of surrogacy on the basis of civil law, which are based on the requirements provided by experts in the field of medical law on the procedure of surrogacy. Such rules and methods formalize the decision-making process in the field of legal regulation of surrogacy and are the theoretical basis for the development and design of decision support system in the field of legal regulation of surrogacy. The developed rules and method of decision support on the possibility of surrogacy on the basis of civil law reflect the peculiarities of deciding whether or not to conduct surrogacy on the basis of assessing the adequacy of information (compliance) for such a procedure, provides adaptation to the subject area.

Keywords: surrogacy, civil law regulation, intelligent decision support system (DSS), adequacy of information, decision support.

### Вступ

Одним з важливих показників стану репродуктивного здоров'я населення є можливість народження дитини (дітей). Наразі 10–15 % українських сімей страждають від безпліддя. Одним із способів подолання безпліддя є застосування допоміжних репродуктивних технологій, зокрема, сурогатне материнство. Сурогатне материнство на сьогодні дозволено законодавством Канади, Бразилії, Аргентини, Гонконгу, Австралії, ПАР, Ізраїлю, Греції, Румунії, Великобританії, України. Проте законодавство Франції, Швеції, Угорщини, Німеччини, Ісландії, Італії, Японії, Швейцарії, Пакистану, Саудівської Аравії, Сербії забороняють сурогатне материнство. В Україні допоміжні репродуктивні технології законодавчо закріплені [1], проте населення має низьку поінформованість та велику кількість дезінформації. Відкритим у стосунках між сурогатною мамою, генетичними батьками, лікарями та посередниками залишається питання відповідальності – і не лише перед законом, а насамперед перед дитиною, яка прийшла у світ за чимось наполегливим бажанням, завдяки медичним маніпуляціям лікарів. Тому, незважаючи на досить успішну практику, залишається багато спірних питань, що потребують дослідження та пошуку вирішення.

Продуктивність праці медичних працівників значно підвищується завдяки успішному впровадженню та використанню систем підтримки прийняття рішень (СППР) [2]. Ще більш значущими та важливими є мультидисциплінарні медичні СППР, які розробляються для медичної та інших дотичних або недотичних предметних галузей – наприклад, СППР для галузі медичного права.

Як показав проведений у [3] огляд відомих систем підтримки прийняття рішень для галузі медичного права, жодна з відомих СППР не призначена для підтримки прийняття рішень щодо сурогатного материнства з врахуванням законодавчих підстав, всі вони не забезпечують підтримки прийняття рішень щодо можливості або неможливості проведення процедури сурогатного материнства.

Отже, на сьогодні *актуальною задачею* є розроблення інтелектуальної СППР для галузі правового регулювання сурогатного материнства. В [3] авторами було проведено огляд основних юридичних проблем сурогатного материнства; визначено необхідні вимоги та юридичні рекомендації до потенційної сурогатної матері, до потенційних батьків, до потенційного виконавця послуги; описано процес оцінювання достатності інформації для проведення процедури сурогатного материнства; запропонована концептуальна схема інтелектуальної СППР в галузі правового регулювання сурогатного материнства, яка, за умови її свідомого використання, надаватиме обґрунтоване та юридично коректне рішення щодо можливості або неможливості проведення процедури сурогатного материнства. В якості напрямків для майбутніх досліджень автори у [3] зазначили необхідність проектування та реалізації запропонованої інтелектуальної СППР, для чого спочатку слід організувати процес підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав, що і є *метою* даного *дослідження*.

### Цивільно-правові підстави виникнення сурогатного материнства

Щоб розробити СППР, яка приносить реальні вигоди користувачам, необхідно спочатку з'ясувати, які ж задачі вона повинна вирішувати і які властивості мати. Для виявлення цих потреб, а також для виявлення змісту вимог слід провести аналіз предметної галузі. В результаті цієї діяльності слід з'ясувати цілі та визначити набір задач, що розв'язуються потенційними користувачами системи. Крім того, аналіз предметної галузі дозволить виявити місця можливих покращень і оцінити наслідки прийнятих рішень. Тому, під час аналізу предметної галузі розроблюваної СППР слід дослідити правові аспекти та виявити основні правові проблеми, які виникають при використанні сурогатного материнства.

Сучасна медична наука виділяє два види сурогатного материнства [4]: 1) повна або гестаційна сурогатність – перенесення в організм сурогатної матері ембріона людини, зачатого подружжям, дружиною та донором, донорами; при цьому сурогатна мати не має генетичного зв'язку з дитиною; 2) часткова або гендерна сурогатність передбачає генетичний зв'язок з дитиною, оскільки використовується яйцеклітина сурогатної матері. Відповідно до Наказу МОЗ України № 787 [1], сурогатне материнство – це штучне запліднення яйцеклітини з наступним поміщенням ембріона в порожнину матки іншої жінки (сурогатної матері). Отже, суть сурогатного материнства полягає у тому, що запліднена яйцеклітина пересаджується до організму генетично сторонньої жінки, яка виношує і народжує дитину не для себе, а для подружжя, яке з різних причин не може мати дітей.

Необхідними умовами для проведення сурогатного (замінного) материнства є [5]: 1) наявність медичних показань до сурогатного материнства; 2) документи, необхідні для проведення сурогатного материнства; 3) подружжя (або один з майбутніх батьків), в інтересах якого здійснюється сурогатне материнство, повинно (повинен) мати генетичний зв'язок з дитиною. Слід звернути увагу на те, що ч. 2 ст. 123 Сімейного кодексу України [6] в 2011 році зазнала певних змін, а саме: після слів «зачатого подружжям» була доповнена словами «чоловіком і жінкою». Такі зміни виключили можливість участі в програмах сурогатного материнства іноземних громадян, які перебувають в зареєстрованих одностатевих шлюбах. Враховуючи проблеми, які виникають при виношуванні дітей для громадян країн, де сурогатне материнство заборонено, на нашу думку, важливою умовою також має бути дозвіл сурогатного материнства законодавством тієї країни, громадяни якої замовляють послугу сурогатного материнства.

Сурогатною матір'ю може бути: повнолітня дієздатна жінка за умови наявності власної здорової дитини, добровільної письмово оформленої заяви сурогатної матері, а також за відсутності медичних протипоказань. Дозволяється виношування вагітності близькими родичами майбутніх батьків (мати, сестра, двоюрідна сестра тощо) [5].

Укладення договору про сурогатне материнство фактично можливе за наявності таких умов: 1) сурогатна матір повинна бути повнолітня, дієздатна, мати власну здорову дитину, дати добровільну інформовану згоду на участь у програмі сурогатного материнства, не може одночасно бути також донором яйцеклітини і не мати медичних протипоказань; 2) генетичні батьки, які укладають такий договір, не можуть самостійно виносити і народити дитину; дружина та чоловік повинні бути дієздатними, не молодшими двадцяти одного року [5].

Договір про сурогатне материнство не можуть укладати дружина та чоловік, які: 1) позбавлені батьківських прав, якщо ці права не були поновлені; 2) були стороною договору сурогатного материнства, але договір розірвано з їхньої вини; 3) були усиновлювачами (опікунами, піклувальниками, прийомними батьками, батьками-вихователями) іншої дитини, але усиновлення було скасовано або визнано недійсним (було припинено опіку, піклування чи діяльність прийомної сім'ї або дитячого будинку сімейного типу) з їхньої вини; 4) перебувають на обліку або на лікуванні у психоневрологічному чи наркологічному диспансері; 5) зловживають спиртними напоями або наркотичними засобами; 6) не мають постійного місця проживання та постійного заробітку (доходу); 7) страждають на хвороби, перелік яких затверджений Міністерством охорони здоров'я України; 8) були засуджені за злочини проти життя і здоров'я, волі, честі та гідності, статевої свободи та статевої недоторканності особи, проти громадської безпеки, громадського порядку та моральності, у сфері обігу наркотичних засобів, психотропних речовин, їх аналогів або прекурсорів, або мають непогашену чи не зняту в установленому законом порядку судимість за вчинення інших злочинів; 9) за станом здоров'я потребують постійного стороннього догляду; 10) є особами без громадянства [5].

Істотними умовами договорів про сурогатне материнство є також: обов'язок сурогатної матері виконувати всі розпорядження лікаря і надавати інформацію про стан свого здоров'я і здоров'я виношуваної нею дитини; наслідки невиношування плоду або народження неповноцінної дитини, дитини з фізичними чи психічними вадами, вродженими аномаліями чи при мертвонародженні; порядок дій на випадок, якщо народяться близнюки; визначення місця проживання сурогатної матері в період виношування дитини (рекомендаційна умова); термін, протягом якого сурогатна мати повинна передати генетичним батькам народжену дитину, а батьки зобов'язані забрати дитину (рекомендаційна умова); розмір компенсації сурогатній матері за виношування і народження дитини (рекомендаційна умова); порядок відшкодування витрат на медичне обслуговування, харчування, проживання сурогатної матері в період виношування дитини, пологів і післяпологовий період (рекомендаційна умова) [5].

Для захисту майнових та немайнових прав й законних інтересів осіб, які беруть участь у програмі сурогатного материнства, на наш погляд, можна застосувати такі юридичні засоби:

- 1) підготовка договору між сурогатною матір'ю і біологічними батьками про виношування дитини;
- 2) оформлення письмової згоди біологічних батьків на виношування сурогатною матір'ю ембріона, отриманого в результаті екстракорпорального запліднення (рекомендаційний характер);
- 3) оформлення письмової згоди сурогатної матері на виношування ембріона біологічних батьків;
- 4) підготовка заяви сурогатної матері про відсутність претензій до біологічних батьків після закінчення програми сурогатного материнства (рекомендаційний характер);
- 5) оформлення згоди сурогатної матері на запис біологічних батьків як батьків дитини в органах реєстрації актів громадянського стану (рекомендаційний характер) [5].

Лікар (медична установа) як виконавець послуги зобов'язана вчасно надавати необхідну, повну і достовірну інформацію про послуги для того, щоб забезпечити право споживача на вибір медичного закладу та лікуючого лікаря. Ця інформація повинна бути надана ще до укладення договору про застосування допоміжних репродуктивних технологій, оскільки вона повинна бути висвітлена і в договорі про сурогатне материнство. Сторони мають отримати повну інформацію про можливі варіанти запліднення та отримати всебічну та детальну консультацію від лікаря (медичного закладу), який буде здійснювати процедуру імплантації ембріону сурогатній матері. Виконавець зобов'язаний надавати медичні послуги з використанням сучасних методів діагностики і лікування, в повному обсязі відповідно до договору, а також забезпечувати участь висококваліфікованого медичного персоналу для надання послуг за цим договором [5].

Всі вищевикладені результати аналізу предметної галузі є вимогами або рекомендаціями, які повинні бути дотримані майбутніми батьками, сурогатною матір'ю або виконавцем послуги (медичною установою). Саме ці вимоги та рекомендації і ляжуть в основу рішень, які будуть пропонуватись розроблюваною інтелектуальною СППР.

#### **Підтримка прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав**

Враховуючи викладені цивільно-правові підстави виникнення сурогатного материнства, розробимо продукційні правила підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав.

Продукційні правила підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав, якщо:

- 1) потенційна сурогатна мати є повнолітньою, то  $k=k+1$ ;
- 2) потенційна сурогатна мати є дієздатною, то  $k=k+1$ ;
- 3) потенційна сурогатна мати має власну здорову дитину, то  $k=k+1$ ;
- 4) потенційна сурогатна мати добровільно оформила письмову заяву, то  $k=k+1$ ;
- 5) потенційна сурогатна мати не має медичних показань до вагітності та пологів, то  $k=k+1$ ;
- 6) потенційна сурогатна мати не є донором яйцеклітини, то  $k=k+1$ ;
- 7) потенційна сурогатна мати виконує всі розпорядження лікаря, то  $k=k+1$ ;
- 8) потенційна сурогатна мати надала повну інформацію про стан свого здоров'я, то  $k=k+1$ ;
- 9) потенційні батьки мають медичні показання до сурогатного материнства, то  $k=k+1$ ;
- 10) потенційні батьки мають генетичний зв'язок з майбутньою дитиною, то  $k=k+1$ ;
- 11) потенційні батьки складають різностатеве подружжя, то  $k=k+1$ ;
- 12) сурогатне материнство дозволене законодавством тієї країни, громадянами якої є потенційні батьки, то  $k=k+1$ ;
- 13) потенційні батьки є дієздатними, то  $k=k+1$ ;
- 14) вік обох потенційних батьків – не молодше 21 року, то  $k=k+1$ ;
- 15) потенційні батьки не позбавлені батьківських прав або мають поновлені батьківські права, то  $k=k+1$ ;
- 16) потенційні батьки не були стороною договору сурогатного материнства, який було розірвано з їхньої вини, то  $k=k+1$ ;
- 17) потенційні батьки не були усиновлювачами (опікунами, піклувальниками, прийомними батьками, батьками-вихователями) іншої дитини, усиновлення або опіку над якими було скасовано або визнано недійсним з вини цього подружжя, то  $k=k+1$ ;

- 18) потенційні батьки не перебувають на обліку або на лікуванні у психоневрологічному чи наркологічному диспансері, то  $k=k+1$ ;
- 19) потенційні батьки не зловживають спиртними напоями або наркотичними засобами, то  $k=k+1$ ;
- 20) потенційні батьки мають постійне місце проживання та постійний заробіток (дохід), то  $k=k+1$ ;
- 21) потенційні батьки не страждають на хвороби, перелік яких затверджений Міністерством охорони здоров'я України, то  $k=k+1$ ;
- 22) потенційні батьки не були засуджені за злочини проти життя і здоров'я, волі, честі та гідності, статевої свободи та статевої недоторканності особи, проти громадської безпеки, громадського порядку та моральності, у сфері обігу наркотичних засобів, психотропних речовин, їх аналогів або прекурсорів, не мають непогашеної чи не знятої в установленому законом порядку судимість за вчинення інших злочинів, то  $k=k+1$ ;
- 23) потенційні батьки не потребують постійного стороннього догляду за станом здоров'я, то  $k=k+1$ ;
- 24) потенційні батьки не є особами без громадянства, то  $k=k+1$ ;
- 25) виконавець послуги (медична установа) надає необхідну, повну і достовірну інформацію про послугу, то  $k=k+1$ ;
- 26) виконавець послуги (медична установа) надає інформацію про послугу до укладення договору про застосування допоміжних репродуктивних технологій, то  $k=k+1$ ;
- 27) виконавець послуги (медична установа) надає повну інформацію про можливі варіанти запліднення, то  $k=k+1$ ;
- 28) виконавець послуги (медична установа) надає всебічну та детальну консультацію щодо процедури імплантації ембріону сурогатній матері, то  $k=k+1$ ;
- 29) виконавець послуги (медична установа) надає медичні послуги з використанням сучасних методів діагностики і лікування, то  $k=k+1$ ;
- 30) виконавець послуги (медична установа) забезпечує участь висококваліфікованого медичного персоналу для надання послуг, то  $k=k+1$ ;
- 31) в договорі описано наслідки невиношування плоду, то  $k=k+1$ ;
- 32) в договорі описано наслідки народження неповноцінної дитини, то  $k=k+1$ ;
- 33) в договорі описано наслідки народження дитини з фізичними або психічними вадами, то  $k=k+1$ ;
- 34) в договорі описано наслідки народження дитини з вродженими аномаліями, то  $k=k+1$ ;
- 35) в договорі описано наслідки мертвородження, то  $k=k+1$ ;
- 36) в договорі описано порядок дій на випадок, якщо народяться близнюки, то  $k=k+1$ ;
- 37) укладається договір про сурогатне материнство, то  $k=k+1$ ;
- 38)  $k=37$ , то «Сурогатне материнство може бути проведено», інакше «Сурогатне материнство не може бути проведено через недотримання цивільного законодавства України».

Метод підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав складається з наступних кроків:

- 1) за методом здійснення пошуку в ширину в прямому напрямку в множині продукційних правил підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав, відбувається перевірка кожного правила, згідно з якими ведеться підрахунок лічильника  $k$ ; і надається висновок щодо можливості або неможливості проведення сурогатного материнства;
- 2) згідно з правилом № 38 виконується аналіз отриманого значення лічильника  $k$  і надається висновок щодо можливості або неможливості проведення сурогатного материнства;
- 3) обчислюється числова оцінка достатності інформації для проведення сурогатного материнства (дотримання вимог) за формулою:  $D=k/37$ , де  $k$  – лічильник, який показує кількість виконаних вимог.

Розроблені правила та метод підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав відображають особливості прийняття рішення щодо проведення або не проведення сурогатного материнства на основі оцінювання достатності інформації (дотримання вимог) для такої процедури, забезпечує адаптацію до особливостей предметної галузі та є теоретичним підґрунтям для розроблення СППР в галузі правового регулювання сурогатного материнства.

## Висновки

Наразі в Україні існує потреба в проектуванні та розробленні систем підтримки прийняття рішень для медичної галузі, які можуть значно підвищити ефективність роботи цієї галузі та забезпечити лікарів від потенційно неправильних рішень за рахунок врахування при формуванні рішення всієї наявної інформації. Ще більш важливими, але й більш складними для проектування та розроблення, є мультидисциплінарні медичні СППР – наприклад, СППР для галузі медичного права, зокрема, СППР для галузі правового регулювання сурогатного материнства.

У статті вперше розроблені правила і метод підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав, які ґрунтуються на врахуванні вимог, наданих експертами галузі медичного права щодо процедури сурогатного материнства. Такі правила та метод формалізують процес прийняття рішень в галузі правового регулювання сурогатного материнства та є теоретичним підґрунтям для розроблення та проектування СППР в галузі правового регулювання сурогатного материнства.

**Література**

1. Про затвердження Порядку застосування допоміжних репродуктивних технологій в Україні : наказ Міністерства охорони здоров'я від 09.09.2013 року № 787 // Офіційний вісник України. – 01.11.2013. – № 82 – С. 446. – Ст. 3064.
2. Syerov Y. Method of the Data Adequacy Determination of Personal Medical Profiles / Y. Syerov, N. Shakhovska, S. Fedushko // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2020. – Vol. 902. – P. 333–343.
3. Novorushchenko T. Concept of Intelligent Decision Support System in the Legal Regulation of the Surrogate Motherhood / T. Novorushchenko, A. Herts, Ye. Hnatchuk // *CEUR-WS*. – 2019. – Vol. 2488. – P. 57–68.
4. Дахно Ф. В. Суррогатное материнство / Ф. В. Дахно // *Жіночий лікар*. – 2007. – № 3. – С. 27–31.
5. Герц А. А. Договірні зобов'язання у сфері надання медичних послуг / А. А. Герц. – Хмельницький : ФОП Мельник А. А., 2015. – 250 с.
6. Сімейний кодекс України від 10 січня 2002 р. № 2947–III // *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. – 2002. – № 21. – Ст. 135.

**References**

1. Order of the Ministry of Health “On Approval of the Procedure for the Use of Assisted Reproductive Technologies in Ukraine No. 787 of 09.09.2013”, Official Journal of Ukraine, vol. 82, 2013, p. 446.
2. Y. Syerov, N. Shakhovska, S. Fedushko. Method of the Data Adequacy Determination of Personal Medical Profiles. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 902. P. 333-343.
3. T. Novorushchenko, A. Herts, Ye. Hnatchuk. Concept of Intelligent Decision Support System in the Legal Regulation of the Surrogate Motherhood. *CEUR-WS*. 2019. Vol. 2488. P. 57-68.
4. F. Dakhno. Surrogate motherhood. Female doctor. 2007. Vol. 3. P. 27-31.
5. Herts. Contractual obligations in the field of medical services. *Khmelnyskyi: FOP Melnyk A. A.*, 2015. 250 p.
6. Family Code of Ukraine, January 10, 2002, No. 2947 – III. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. 21, 135 (2002).

Рецензія/Peer review : 16.10.2020 р.

Надрукована/Printed :02.11.2020 р.



## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ СЛІВ ПІСЕНЬ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Реалізована інформаційна технологія завантаження слів пісень в реальному часі для мобільних пристроїв. Програмний застосунок забезпечує завантаження слів музичної композиції на основі її метаданих з подальшим відображенням тексту на екрані мобільного пристрою. Результати пошуку та завантаження зберігаються у локальній базі даних задля забезпечення офлайн-режиму доступу. Реалізовано інтеграцію з популярним відеохостингом YouTube, що забезпечує розширення функціональних можливостей реалізованого програмного застосунку з прослуховування аудіо творів на перегляд мультимедійного контенту. Наявний функціонал інформаційної системи дозволяє використовувати її для вивчення іноземних мов.

Ключові слова: інформаційна технологія, виконавець, слова пісні, навчання.

P.O. HRYTSYSHYN, O.A. PASICHNYK, T.K. SKRYPNYK

Khmelnyskyi National University

### REAL-TIME LYRICS DOWNLOADING INFORMATION TECHNOLOGY FOR MOBILE DEVICES

Any learning is more effective when we have fun when new material is learned during the game or quest. For example, many admit that they have learned or improved their English by listening to songs and translating them on their own. English songs are not only a great source of "living" language, but also allow you to train several language skills at once. To be successful, learning English should be fun. Learning a language by doing what you love is both easier and more fun. Do you like to sing? Then learn English with songs. Everything you need – a smartphone or tablet! This is a very simple but effective way that requires almost no effort. Songs acquaint us with how carriers express their emotions, feelings, thoughts. Besides, you will have topics to discuss with your English-speaking friends – this can apply to both the content of the songs and the artists. Language and music are two ways of human communication and self-expression. These concepts are inextricably linked by certain basic characteristics, such as rhythm, dynamics, pitch, timbre, and so on. That is why the methods of teaching language and music are very similar. Moreover, scientists claim that people who have good musical abilities can achieve great success in learning the language. Today, with the development of technology, the music industry is moving online, there are many services for streaming audio, which allow you to legally and for free listen to music, provide legal online streaming audio of major world and independent labels, including BBC, Sony, EMI, Warner Music Group, Universal and others. Some services provide extensive information about the song, including its words. The development of new information technologies allows us to develop a society in certain directions. They are actively transforming other technologies of tangible and intangible production, eventually forming a new style of work, a way of life in general. The essence of information technology are methods and means of forming and maintaining information flows in object management systems.

Keywords: information technology, lyrics, performer, studying.

### Аналіз предметної області

Кожен день людина слухає музику і не замислюється над тим, що різні пісні можна слухати не тільки заради свого задоволення, але і з їх допомогою також можна поліпшити свої навички англійської. Адже в наш час багато відомих хітів написано саме на цій мові, оскільки вона одна з найбільш популярних. Але чому прослуховування музики може допомагати вивчати іноземну мову? Відповідь полягає в тому, що Ви самі себе навчаєте і при цьому отримуєте задоволення. І, напевно, це один з найбільш простих і ефективних способів розширити свій словниковий запас. Так як під час прослуховування пісні, яка нам подобається, ми автоматично намагаємося запам'ятати слова. Тому чим більше музики Ви слухаєте, тим краще. В наш час популярність додатків, що відтворюють музику, є надвисокою, проте, просто прослуховування музики можна розширити та надати додаткової користі – опанування іноземної мови.

### Аналіз існуючого програмного забезпечення предметної області

Сьогодні з розвитком технологій музична індустрія переходить в он-лайн, з'являється багато сервісів для потокового аудіо, які дозволяють легально та безкоштовно прослуховувати музичні композиції, надають послуги легального онлайн-стрімінгу аудіозаписів основних світових і незалежних лейблів, включаючи BBC, Sony, EMI, Warner Music Group, Universal тощо. Деякі сервіси надають розширену інформацію про композиції, включно зі словами.

Одним з прикладів сервісів, які дозволяють перенести сферу музичної індустрії в онлайн, є сервіс "Spotify" [1]. Головна сторінка сайту організована в стилі landing-page, що одразу акцентує увагу користувача на головних перевагах різних видів підписок. Можна перейти безпосередньо до сторінки з композиціями. Також на сайті є досить зручний і інтерактивний пошук композиції за різними фільтрами. Зручним є те, що з головної сторінки можна перейти на сторінку музичного плеєра.

Ще одним прикладом сервісу в сфері аудіо є "Musixmatch" [2]. Мобільні програми "Musixmatch" відображають тексти пісень, синхронізовані з музикою, що відтворюється. У своїх власних програмах він може сканувати всі пісні в музичній бібліотеці користувача, знаходити тексти пісень та використовувати їх як музичний плеєр. На Android він також підтримує сервіси потокового передавання музики, такі як Spotify, Google Play Music [3], Deezer [4]. MusixMatch також дозволяє користувачам вносити тексти пісень та синхронізації до лірики в обмін на бали, які відповідають рівням та значкам.

**Аналіз та автоматизація обробки інформаційних потоків**

Можна виділити основний бізнес-процес застосунку для автоматизації його потреб – завантаження слів музичної композиції.

Бізнес-процес «Завантаження слів музичної композиції». Цей бізнес-процес передбачає опрацювання інформації, що стосується завантаження слів, й включає такі функції:

- збір інформації по композиції, що відтворюється;
- пошук слів у віддалених базах даних, таких як LastFM [5], Genius [6], iTunes [7].
- отримання слів, при першому відтворенні композиції з метадати береться інформація про виконавця та назву композиції. За цими параметрами здійснюється запит на вище згадані сервіси. Знайдені слова відображаються на екрані (рис. 1) та зберігаються у локальній базі даних (рис. 2).

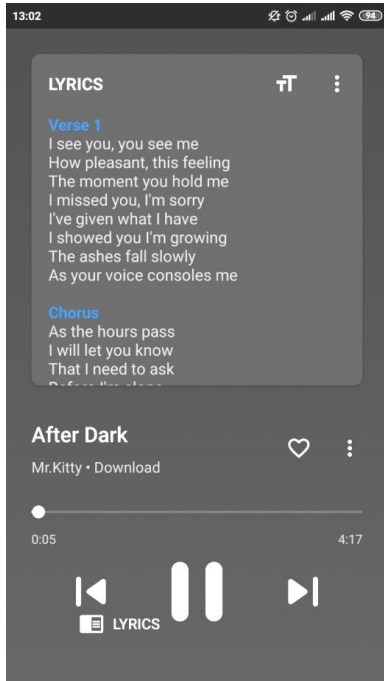


Рис. 1. Завантажені слова на екрані.

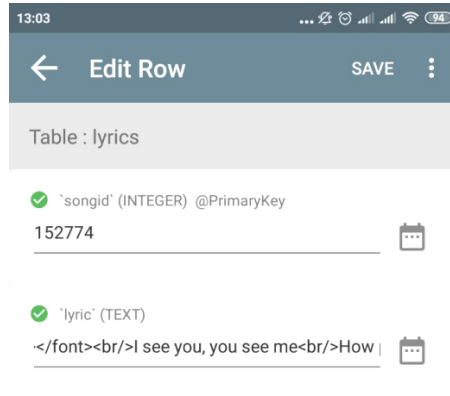


Рис. 2. Завантажені слова у базі даних

Table Name	Columns	Table Definition
album_stats	albumid, playcount, playtime	CREATE TABLE `album_stats` (`albumid` INTEGER NOT NULL, `playcount` INTEGER NOT NULL, `playtime` INTEGER NOT NULL)
android_metadata	locale	CREATE TABLE android_metadata (locale TEXT)
artist_stats	artistid, playcount, playtime	CREATE TABLE `artist_stats` (`artistid` INTEGER NOT NULL, `playcount` INTEGER NOT NULL, `playtime` INTEGER NOT NULL)
bio	artistid, bio, tags	CREATE TABLE `bio` (`artistid` INTEGER NOT NULL, `bio` TEXT, `tags` TEXT)
equalizer	eqid, eqname	CREATE TABLE `equalizer` (`eqid` INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT, `eqname` TEXT NOT NULL)
favorites	fav	CREATE TABLE `favorites` (`fav` INTEGER NOT NULL, PRIMARY KEY(`fav`))
lyrics	songid, lyric	CREATE TABLE `lyrics` (`songid` INTEGER NOT NULL, `lyric` TEXT NOT NULL)
room_master_table	id, identity_hash	CREATE TABLE room_master_table (id INTEGER PRIMARY KEY, identity_hash TEXT)
song_stats	songid	CREATE TABLE `song_stats` (`songid` INTEGER NOT NULL, `playcount` INTEGER NOT NULL)

Рис. 3. Представлення бази даних

Щоб автоматизувати роботу веб-сервісу, дані потрібно організувати у таблиці бази даних і провести нормалізацію.

Для збереження слів у локальній базі даних використовується мобільна база даних Room [8]. БД складається з таких таблиць:

- 1) album\_stats (кількість разів відтворення альбому та час відтворення);
- 2) android\_metadata (локаль для завантаження);
- 3) artist\_stats (кількість разів відтворення виконавця та час відтворення);
- 4) bio (інформація про виконавця);
- 5) equalizer (збережені набори еквалайзера);
- 6) favorites (вподобані композиції);
- 7) lyrics (слова композиції);
- 8) song\_stats (кількість разів відтворення композиції та час відтворення).

Представлення бази даних можна побачити на рис. 3.

Розроблений застосунок буде корисним у використанні для людей які, часто слухають музику та бажають переглядати слова композиції. Користувач буде мати змогу завантажити слова композиції та вирішити чи зберегти її локально для того, щоб мати змогу відкрити слова знову без підключення до мережі. Схему доступних функцій для користувача зображено на рис. 4.



Рис. 4. Базові функції користувача

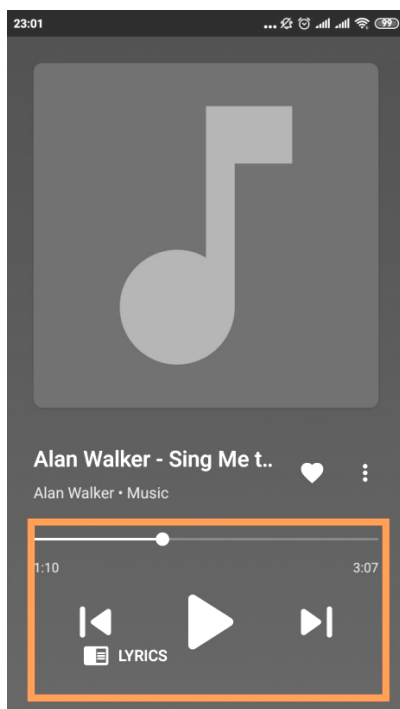


Рис. 5. Міні-плеєр

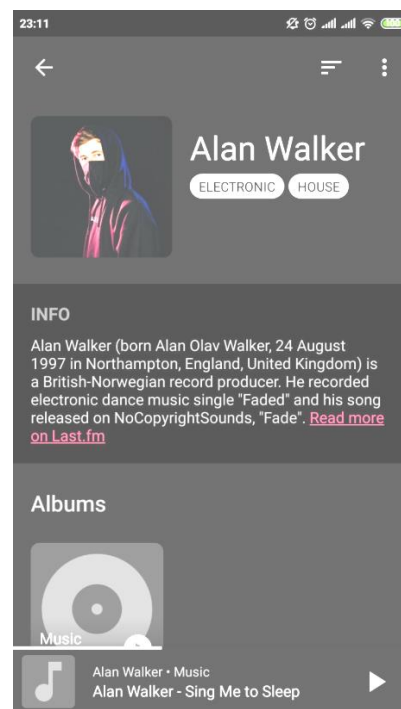


Рис. 6. Show Artist екран

Бізнес-процес «медіа-плеєр»/ Даний бізнес-процес передбачає елементи управління музичним відтворенням і включає в себе наступні функції:

- управління музикою (пауза, переміщення, наступний, попередній трек);
- додавання композиції в список вподобаних;
- перегляд інформації про виконавця;
- редагування тегів;
- шаринг.

Управління музикою – це медіа-плеєр (міні-плеєр), рис. 5.

За допомогою функції «Додати в список вподобаних» користувач має можливість швидко знайти улюблену композицію. На екрані композиції через меню швидких дій можна вибрати наступні функції:

Show Artist (рис. 6) – для перегляду інформації про виконавця, його зображення. Також можна ознайомитись з його біографією, локально збережені альбоми та композиції.

Edit Tags (рис. 7) – для редагування метаданих композиції. Метадані можуть включати назву композиції, тривалість, назву альбому, номер диску, рік випуску, жанр, дані про виконавця і т.д. Редагування буде корисним, якщо метадані композиції пошкоджені і пошук слів був невдалим. В такому випадку можна власноруч змінити метадані та успішно знайти потрібні слова.

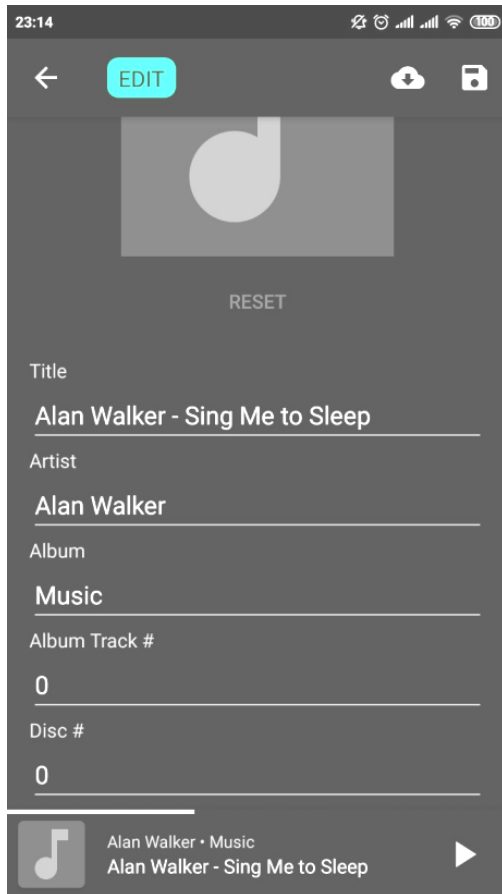


Рис. 7. Екран з метаданими

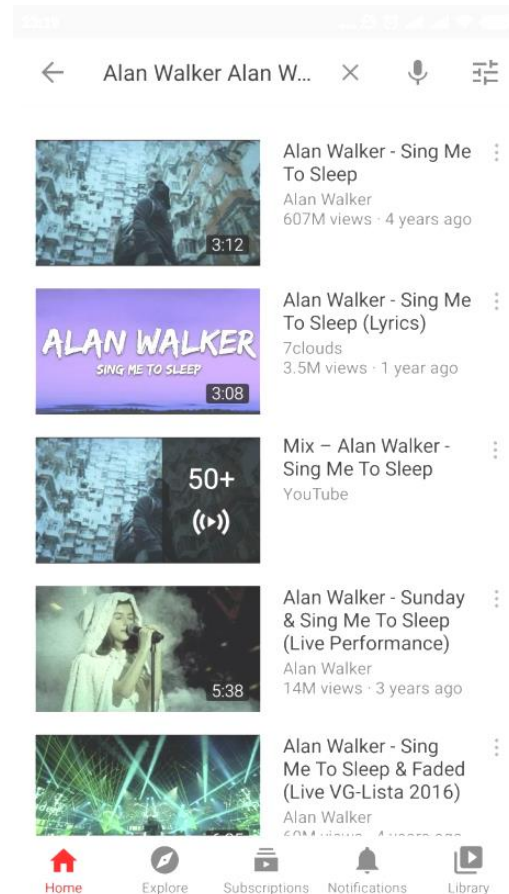


Рис. 8. Сервіс YouTube з відеокліпом композиції

View on YouTube (рис. 8) – для швидкого пошуку оригінального відеокліпу композиції. Відбувається перенаправлення на сервіс відео-хостингу YouTube.

Share – для того, щоб поділитись композицією у соц. мережах через технологію безпроводового зв'язку Bluetooth, поштовий клієнт і т.д.

### Висновок

Реалізована інформаційна технологія завантаження слів пісень в реальному часі для мобільних пристроїв. Програмний застосунок забезпечує завантаження слів музичної композиції на основі її метаданих з подальшим відображенням тексту на екрані мобільного пристрою. Результати пошуку та завантаження зберігаються у локальній базі даних задля забезпечення офлайн-режиму доступу. Реалізовано інтеграцію з популярним відео-хостингом YouTube, що забезпечує розширення функціональних можливостей реалізованого програмного застосунку з прослуховування аудіо творів на перегляд мультимедійного контенту. Наявний функціонал інформаційної системи дозволяє використовувати її для вивчення іноземних мов.

### Література

1. Spotify [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.spotify.com/ua/>
2. MusixMatch [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.musixmatch.com/>

3. Google Play Music [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://play.google.com/music/listen>
4. Deezer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.deezer.com/ru/>
5. LastFM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.last.fm/ru/home>
6. Genius [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://genius.com/>
7. iTunes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.apple.com/ru/itunes/>
8. Room DB [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.android.com/training/data-storage/room/>

#### References

1. Spotify. URL: <https://www.spotify.com/ua/>
2. MusixMatch. URL: <https://www.musixmatch.com/>
3. Google Play Music. URL: <https://play.google.com/music/listen>
4. Deezer. URL: <https://www.deezer.com/ru/>
5. LastFM. URL: <https://www.last.fm/ru/home>
6. Genius. URL: <https://genius.com/>
7. iTunes. URL: <https://www.apple.com/ru/itunes/>
8. Room DB. URL: <https://developer.android.com/training/data-storage/room/>

Рецензія/Peer review : 19.09.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.

М.С. ГРИЦЮК, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК  
Хмельницький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПЛАНУВАННЯ НАЙКРАЩОГО ШЛЯХУ ДЛЯ ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

*Розроблена інформаційна система планування найкращого шляху для доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера. Даний сервіс забезпечує прокладання маршруту у відповідності з початковими даними (початкова та кінцева точка) та обмеженнями (проміжні точки маршруту, часові обмеження, масо-габаритні тощо). Інформаційна система також містить вбудований калькулятор вартості перевезень, який враховує довжину маршруту та вагу вантажу.*

*Ключові слова: вантажні перевезення, далекобійники, вантаж, задача комівояжера, оптимальний маршрут.*

M.S. HRYTSYUK, O.A. PASICHNYK, T.K. SKRYPNYK  
Khmelnyskyi National University

### PLANNING INFORMATION SYSTEM FOR THE BEST WAY TO DELIVER CARGO WITH THE HELP OF THE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM SOLVER

*The Internet has made it possible to transfer most areas of activity online, as well as solve various types of problems without leaving home. As a result, many innovative projects have emerged that have simplified and improved routines. Freight transportation in Ukraine occupies the largest share among all types of transport services. The minimum part of the carriers involved in this process works on a contractual basis with large enterprises-customers. Other market participants interact with customers without signing long-term cooperation agreements. This option of bilateral partnership is extremely risky because the search for a customer or carrier on the bulletin boards can end in a meeting with fraudsters. As a result, the transport organization is left without earnings, and the customer loses the cargo. Many drivers working in trucking companies are thinking about starting a business in this field, but in order to be independent of the transport company, it is not enough to own a truck, as one of the main services provided by transport companies in the search. orders. Given that the orders placed by companies do not always meet the expectations of drivers, and the place of loading can be in the tens or even hundreds of kilometres from the location of the driver. Not all companies reimburse the fuel used to get to the place of loading. As a result, drivers are required to pay for the services of the operator, as well as to compensate out of pocket to get to the place of loading, which significantly reduces their income. Therefore, an information system was developed to plan the best way to deliver the goods using the task of a salesman. This service provides routing in accordance with the initial data (start and end point) and restrictions (intermediate points of the route, time restrictions, mass and size, etc.). The information system also contains a built-in cost calculator that takes into account the length of the route and the weight of the cargo.*

*Keywords: freight transportation, truckers, cargo, the traveller's task, optimal route.*

#### Аналіз предметної області

Кожен великий бізнес, сфера діяльності якого тісно пов'язана з великими грошима, будь-то виробництво, оптова чи широка роздрібна мережа, будує свій бізнес на правильно сформованому вантажоперевезенню. Вчасно доставлений вантаж підтримує в стабільності весь процес бізнесу. Якщо на виробництво не буде вчасно доставлений хоч один компонент все зупиниться і почнуться збитки. У тій же оптовій або роздрібній мережі відсутність певного товару вказує дорогу до конкурентів. Клієнтам не важливо з якої причини є необхідних товарів, їм важливо володіти ними.

Сфера вантажоперевезень активно розвивається, завдяки тому, що через Україну проходять великі транспортні шляхи, дедалі більше людей розпочинають свою кар'єру саме в цій сфері. Завдяки сучасним технологіям, вантажоперевезення стає максимально ефективним і прибутковим. Подання асортименту в Інтернеті є перспективним напрямком розвитку бізнесу. Невеликого стартового капіталу цілком достатньо, щоб відкрити інтернет-магазин, який стане основою для подальшого розширення компанії та досягнення рівня роздрібною мережі.

Веб-додатки, які вирішують проблеми вантажоперевезень, стають дедалі популярними серед перевізників. Автомобільні перевезення широко використовується у всіх галузях економіки: в торгівлі, виробництві, сільському господарстві.

#### Аналіз існуючого програмного забезпечення предметної області

Сьогодні розвиток технології дозволяє автоматизувати ті процеси, які ще декілька років тому не могли б існувати без підтримки людини. Доволі часто ми чуємо про нові сервіси, які вдосконалюють ті процеси, які людина не здатна вирішувати на високому рівні. Наприклад, всім знайомий сервіс для виклику авто (таксі) Uklon – це досить хороший приклад сервісу, який вирішує проблеми, будівництва найкращого маршруту для водіїв таксі, за допомогою сучасних технологій, що, в свою чергу, дозволяє скоротити витрати на паливе, задовольнити потреби клієнта, а також дає змогу виконати більше замовлень за один і той же час.

Сфера вантажоперевезень не виключення, завдяки доступності мережі Інтернет, з'являється можливість до реалізації нових ідей, які змінюють всі процеси, які були до цього запроваджені в тій чи іншій галузі.

Одним з прикладів сервісів в сфері вантажоперевезень є “Lardi Trans” [1] – це сервіс, який спеціалізується на міжнародних вантажоперевезеннях (рис. 1).

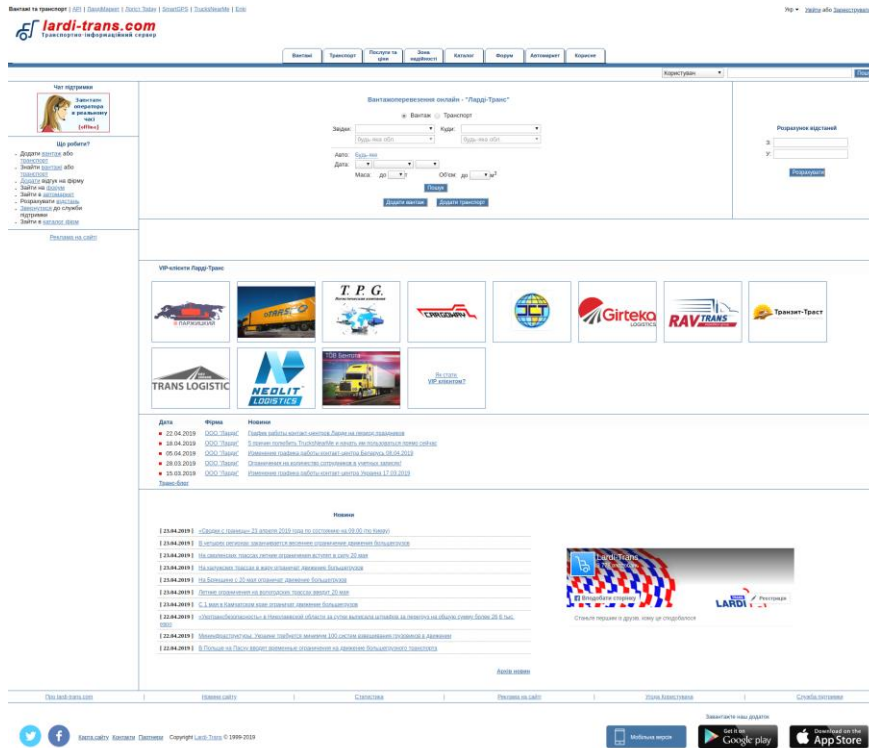


Рис. 1. Даталогічна модель БД

Наявність певних недоліків в існуючому програмному забезпеченні для вирішення задачі планування найкращого шляху доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера в межах інформаційної системи потребує реалізації такого функціоналу: впровадити зручний і сучасний інтерфейс користувача, пошук маршруту вказуючи початкову, проміжні і кінцеві точки, що в свою чергу дозволить спланувати рейс для водія.

**Аналіз та автоматизація обробки інформаційних потоків**

Розробка нових інформаційних технологій дозволяє розвивати суспільство в тих чи інших напрямках. Вони активно перетворюють інші технології матеріального і нематеріального виробництва, в кінцевому підсумку формуючи новий стиль роботи, спосіб життя в цілому. Суть інформаційних технологій становлять методи і засоби формування та підтримки інформаційних потоків у системах управління об'єктами. Якщо розглядати роботу звичайної транспортної компанії, то можна побачити, як неефективно розподіляються ресурси, дана галузь створює багато непотрібних, суміжних процесів, які сьогодні можна автоматизувати: обробка замовлень, планування маршруту, виконання замовлень.

**Бізнес-процес «Обробка замовлень».** Даний бізнес-процес передбачає опрацювання інформації, що стосується замовлень, й включає в себе наступні функції: збір інформації по вантажу, розрахунок актуальної вартості доставки, прийняття пропозиції від водіїв, оформлення замовлення;

**Бізнес-процес «Планування маршруту».** Даний процес потребує багато зусиль, для того, щоб спланувати максимально ефективний маршрут, який дозволить збільшити прибутки компанії, й, зокрема, задовольнити відправника вчасним доставленим вантажем.

Планування маршруту передбачає опрацювання інформації, що стосується, починаючи від стану доріг, закінчуючи відстанню між пунктом відправки й пунктом призначення, даний процес включає в себе наступні дії: розрахунок відстані між точкою А та точкою Б, дослідження можливих маршрутів, врахування різних факторів, які впливають на тривалість доставки вантажу, вибір найкращого маршруту.

**Бізнес-процес «Виконання замовлень».** При роботі із замовленням водій, водій отримує можливість напряму спілкуватися з клієнтом, через влаштований месенджер, що дозволяє отримати максимально точну інформацію щодо вантажу, в свою чергу це дозволяє водію спланувати свій маршрут максимально ефективно, а саме взяти попутні замовлення, якщо це дозволяє параметри його автомобіля. Виконання замовлення включає в себе наступні функції: перегляд даних замовлення, будівництва найкращого маршруту, виконання попутних замовлень, відмова від замовлення, керування рейтингом водія.

Для того, щоб автоматизувати роботу веб-сервісу, дані потрібно організувати у таблиці базу даних і провести нормалізацію.

Даталогічна модель БД створюється відповідно до бізнес-процесів та їх функцій (рис. 2).

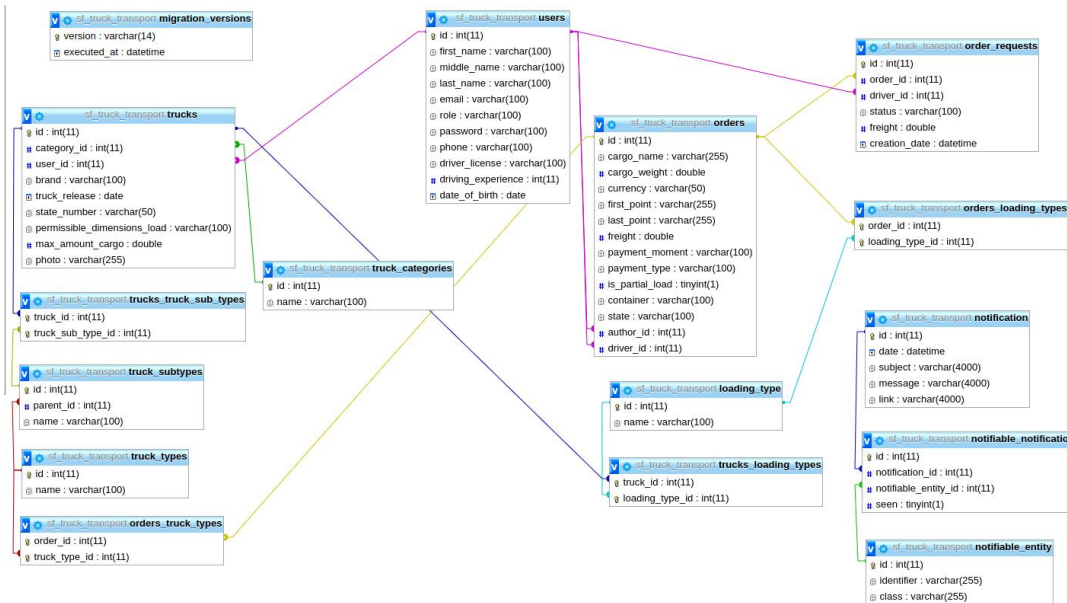


Рис. 2. Даталогічна модель БД

Розробка структури інформаційної системи

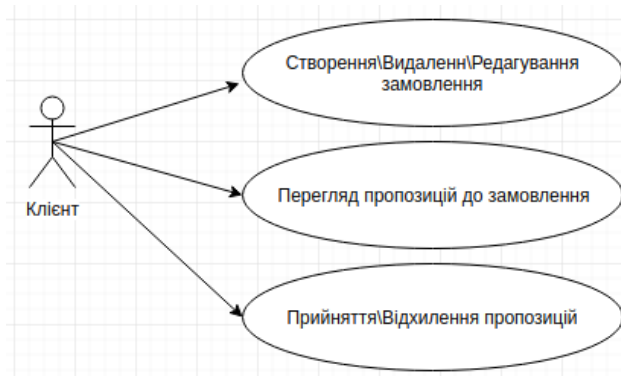


Рис. 3. Роль користувача «Клієнт»

Розроблений веб-сервіс буде корисним у використанні для клієнтів які, часто використовують послуги транспортних компаній, а також для водій, які мають власний вантажний автомобіль, і хочуть бути незалежні від транспортної компанії.

У сервісі буде два типи користувачів: «Клієнт» та «Водій». Для кожного з користувачів будуть доступні відповідні функції.

Користувач «Клієнт» після авторизації, буде мати змогу створити вантаж, який буде містити в собі всю необхідну інформацію, для того, щоб знайти водія з вантажівкою, котра буде відповідати вимогам транспортування вантажу. «Клієнту» буде доступний перегляд

усіх пропозицій від водіїв, які він може відхилити або прийняти. Схема доступних функцій для користувача «Клієнт» зображено на рис. 3.

Користувач «Водій» може отримати доступ до особистого кабінету після авторизації. Даному користувачу буде доступна можливість керування своїми вантажівками, пошук замовлень, і відправлення запиту на замовлення (рис. 4).

Інтерпретація алгоритму задачі комівояжера

Задача комівояжера полягає у пошуку найкращого маршруту, що проходить через обрані міста хоча б один раз. В умовах завдання вказуються критерій вигідності маршруту (найкоротший, найдешевший, сукупний критерій тощо) і відповідні матриці відстаней, вартості тощо. Зазвичай задано, що маршрут повинен проходити через кожне місто тільки один раз, в такому випадку розв'язок знаходиться серед гамільтонових циклів. Для реалізації пошуку найкращого шляху було використано метод грубої сили. Є  $N$  міст, з'єднаних між собою дорогами. Між ними необхідно прокласти найкоротший замкнутий маршрут, що проходить через кожне місто тільки один раз. Намальований граф (рис. 5), що складається з п'яти вузлів (міст), з'єднаних ребрами (дорогами). Довжини доріг приведені поруч з ребрами. Це зв'язний граф, в якому кожен вузол з'єднаний з будь-яким іншим. Ребра графа ненаправлені і переміщення по ним від вузла до вузла можливо в будь-якому напрямку. Позначимо відстань між містами  $i$  та  $j$  через  $D_{ij}$ . Зазвичай передбачається, що  $D_{ij} \geq 0$ ,  $D_{ij} = D_{ji}$

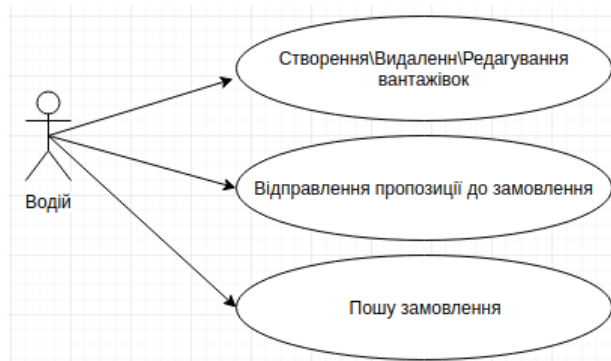


Рис. 4. Роль користувача «Водій»



Взагалі кажучи,  $D_{ij}$  – не обов'язково "фізична довжина" дороги. Це може бути час переміщення, вартість квитка або довільно заданий невід'ємне число. Проте, у всіх цих випадках,  $D_{ij}$  буде називатися відстанню. Запишемо відстані між містами у вигляді матриці (рис. 6). Наприклад, відстань з міста 2 в місто 3 ( $i$  з 3 в 2) дорівнює 7. Так як граф ненаправлений, ця матриця симетрична. Прочерками відзначені "заборонені" переходи з міста в нього ж.

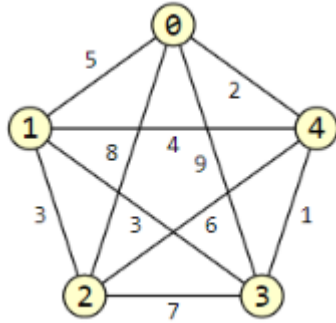


Рис. 5. Граф

	0	1	2	3	4
0	-	5	8	9	2
1	5	-	3	3	4
2	8	3	-	7	6
3	9	3	7	-	1
4	2	4	6	1	-

Рис. 6. Матриця відстані між містами

Шуканий шлях замкнутий, тому будь-яке місто можна вибрати в якості початкового (і кінцевого). Нехай таким буде нульовий місто. Тоді будь-яка перестановка чисел від 1 до 4, оточена нулями, символізує певний шлях, що проходить через кожне місто один раз. Наприклад, 0,1,3,2,4,0, означає, що стартуючи з міста 0, ми подорожуємо у місто 1, потім в місто 3 і т.д. На останньому кроці з міста 4 повертаємося в стартову точку – місто 0. Довжина цього шляху дорівнює  $5 + 3 + 7 + 6 + 2 = 23$  і він не найкоротший. В даному випадку є дві перестановки довжиною 17. Це 0,2,1,3,4,0 і 0,4,3,1,2,0. Насправді це один і той же шлях, який проходить в "прямому" або "зворотному" напрямку. Подібні перестановки, що відрізняються зверненням шляху, вважаються тотожними. Надалі фінальне місто буде опускатися і мається на увазі, що він завжди збігається зі стартовим. Таким чином, на наведеному вище графі існує єдине оптимальне рішення 0,2,1,3,4 з довжиною шляху, рівній 17.

Нехай один з  $N$  міст фіксований. Тоді решта  $N-1$  міст можна переставити  $(N-1)!$  способами. Половина з них є зверненням шляху (циклічної перестановки). Тому існує  $(N-1)! / 2$  варіантів різних шляхів, серед яких необхідно знайти хоча б один шлях мінімальної довжини.

### Калькулятор вартості перевезень

Для розрахунку вартості перевезення використовуються наступні вхідні дані: місце відправки вантажу, місце прибуття вантажу, вага вантажу. Процес перевезення вантажів складається з трьох етапів: початкового, рухомого та кінцевого. З урахуванням типовості початкового та кінцевого етапів виокремлюють витрати на здійснення початково-кінцевих та рухомих операцій. До початково-кінцевих належать витрати на утримання рухомого складу на стоянках, на його підготовку та завантаження, на різні маневрові роботи, тобто на всі роботи, не пов'язані з рухом і відстанню перевезень. Рухомі операції передбачають витрати на утримання рухомого складу на шляху пересування вантажу.

Загалом собівартість транспортного тарифу розраховується за формулою:  $Стт = Вп.к + ВрВ$ , де  $Вп.к$  – витрати на початково-кінцеві операції, гр. од.;  $Вр$  – рухомі (шляхові) витрати на 1 км відстані, гр. од.;  $В$  – відстань перевезення вантажів, км.

Використовуючи цю формулу, розраховують собівартість перевезення на 1 км вантажу масою 1 т. Зі збільшенням відстані перевезення вантажів собівартість перевезення 1 т/км зменшується, тому що зменшуються відносні витрати на початково-кінцеві операції з переміщення вантажів на 1 км.

Даний функціонал, який дозволить розраховувати вартість вантажу буде корисним не лише для користувачів, які відправляють вантаж, а й для самих водіїв початківців, які, в свою чергу, можуть цей калькулятор використовувати для формування вартості 1 км.

### Розрахунок відстаней і вартості перевезення

Щоб розрахувати відстань і рекомендовану вартість перевезення вантажу заповніть поля маршруту і вкажіть тоннаж.

Звідки

Куди

Тоннаж вантажу (т)

**РОЗРАХУВАТИ ВАРТІСТЬ ПЕРЕВЕЗЕННЯ**

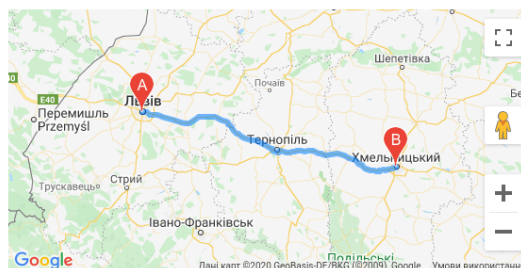
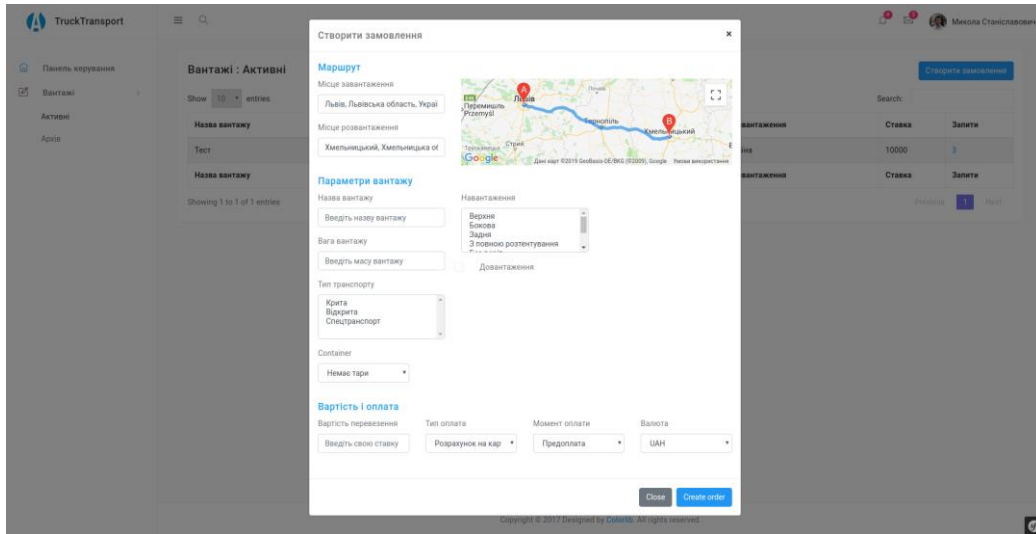


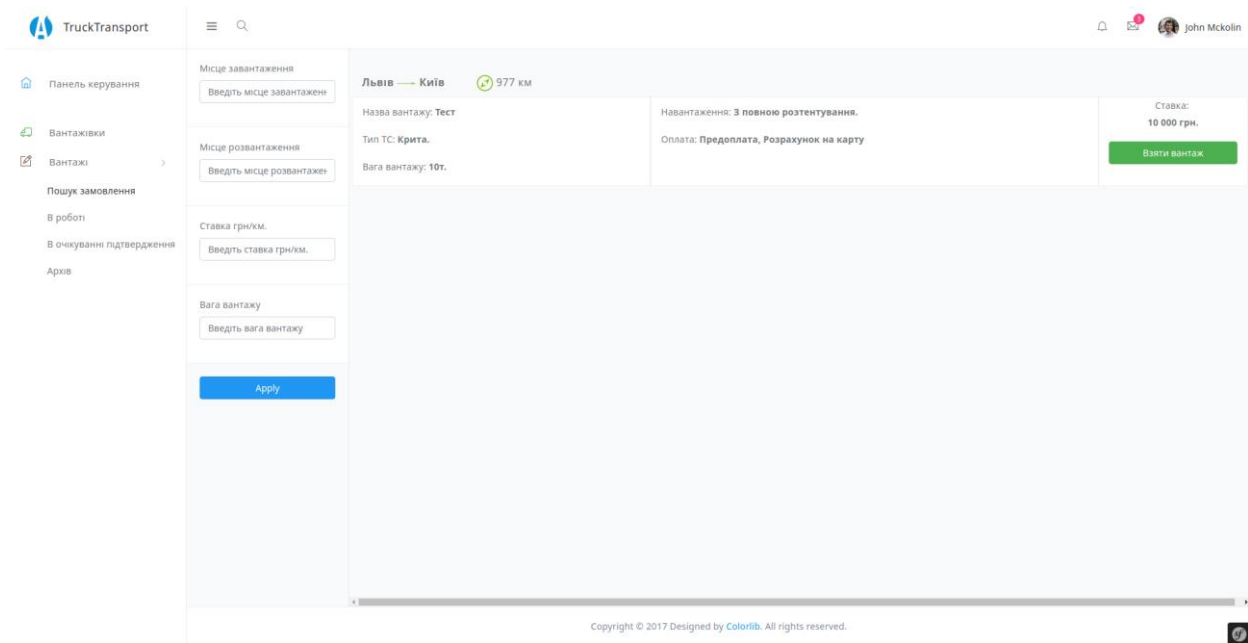
Рис. 7. Інтерфейс калькулятора розрахунку вартості перевезення вантажу

**Програмна реалізація інформаційної системи**

Реалізована інформаційна система для розв’язання задачі планування найкращого шляху для доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера забезпечує прокладання маршруту у відповідності з початковими даними та обмеженнями (рис. 8, рис. 9), а також забезпечує калькуляцію вартості перевезень (рис. 10).



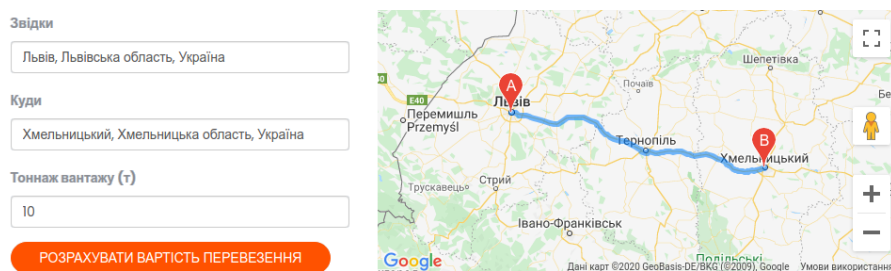
**Рис. 8. Інтерфейс створення замовлення**



**Рис. 9. Інтерфейс пошуку замовлення**

**Розрахунок відстаней і вартості перевезення**

Щоб розрахувати відстань і рекомендовану вартість перевезення вантажу заповніть поля маршруту і вкажіть тоннаж.



**Рис. 10. Інтерфейс пошуку замовлення**

Для реалізації було вибрану мову програмування PHP. Завдяки своїй популярності, PHP в арсеналі має достатньо хороших фреймворків, які дозволяють ефективно, швидко і надійно розробляти веб-додатки. Для вирішення своїх потреб, ми обрали фреймворк Symfony 4 – один з найпопулярніших фреймворків, який славиться своєю архітектурою. Доволі багато фреймворків, CMS і E-commerce базують своє ядро на Symfony. Для організації бази даних було обрано систему керування базами даних MySQL.

### Висновки

Реалізована інформаційна система для вирішення задачі планування найкращого шляху для доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера. Програмний застосунок забезпечує прокладання маршруту у відповідності з початковими даними (початкова та кінцева точка) та обмеженнями (проміжні точки маршруту, часові обмеження, масо-габаритні тощо). Інформаційна система містить вбудований калькулятор вартості перевезень, який враховує довжину маршруту та вагу вантажу.

### Література

1. Lardi Trans [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://lardi-trans.com/en/>
2. Applegate D.L., Bixby R.E., Chvátal V. & Cook W.J. (2007). The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press.
3. Левитин А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ. Глава 3. Метод грубой силы: Задача коммивояжера / Ананий В. Левитин. – М. : Вильямс, 2006. – С. 159–160. – ISBN 0-201-74395-7.
4. Bernhard Korte, Jens Vygen (2006). Combinatorial Optimization. 3d ed. Springer. ISBN 3-540-25684-9.
5. Reinelt, Gerhard (1992). Fast heuristics for large geometric traveling salesman problems. ORSA Journal on computing, 4:206-217
6. Ковалев В.П. Эффективность грузовых автомобильных перевозок: Состояние, проблемы, перспективы / Ковалев В.П. – Минск : Беларусь, 1984. – 112 с.
7. Просветов Г.И. Математические методы в логистике / Просветов Г.И. – М. : РДЛ, 2006. – 272 с.
8. Меламед И.И. Задача коммивояжера. Вопросы теории / И.И. Меламед, С.И. Сергеев, И.Х. Сигал // Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 9. – С. 3–33.
9. Chisman J.A. The clustered traveling salesman problem / J.A. Chisman // Computers & Operations Research. — September 1975. – Volume 2. – Issue 2. – P. 115–119.

### References

1. Lardi Trans. URL: <https://lardi-trans.com/en/>
2. Applegate D.L., Bixby R.E., Chvatal V. & Cook W.J. (2007). The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press.
3. Levitin A. V. Algoritmy: vvedenie v razrabotku i analiz. Glava 3. Metod gruboj sily: Zadacha kommivoyazhera / Ananij V. Levitin. – M. : Vilyams, 2006. – S. 159–160. – ISBN 0-201-74395-7.
4. Bernhard Korte, Jens Vygen (2006). Combinatorial Optimization. 3d ed. Springer. ISBN 3-540-25684-9.
5. Reinelt, Gerhard (1992). Fast heuristics for large geometric traveling salesman problems. ORSA Journal on computing, 4:206-217
6. Kovalev V.P. Effektivnost gruzovyh avtomobilnyh perevozok: Sostoyanie, problemy, perspektivy / Kovalev V.P. – Minsk : Belarus, 1984. – 112 s.
7. Prosvetov G.I. Matematicheskie metody v logistike / Prosvetov G.I. – M. : RDL, 2006. – 272 s.
8. Melamed I.I. Zadacha kommivoyazhera. Voprosy teorii / I.I. Melamed, S.I. Sergeev, I.H. Sigal // Avtomatika i telemekhanika. – 1989. – № 9. – S. 3–33.
9. Chisman J.A. The clustered traveling salesman problem / J.A. Chisman // Computers & Operations Research. — September 1975. – Volume 2. – Issue 2. – P. 115–119.

Рецензія/Peer review : 19.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, К.О. МЕШКОВА

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

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ МОНІТОРИНГУ ХВОРИХ НА ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ

Розроблено електронний щоденник для прогнозування гіперглікемії в якості мобільного додатку «DiaHelper». В якості хмарової платформи було обрано Firebase, що дає можливість передачі, зберігання та видачі даних у режимі реального часу. В дану систему було імплементовано рівняння лінійної регресії для надання порад користувачу стосовно зміни стадії лікування та рівня глюкози. Математична модель була підрахована за допомогою програмного продукту IBM SPSS Statistics Version 23 з використанням бази даних 398 пацієнтів з цукровим діабетом. Розроблений електронний щоденник зможе допомогти хворим на цукровий діабет не лише контролювати процес перебігу захворювання, а й допоможе запобігти виникненню тяжких ускладнень за рахунок попередження настання гіперглікемії. А передача даних в режимі онлайн допоможе швидше та якісніше аналізувати перебіг моніторингу лікування.

Ключові слова: моніторинг, телемедицина, поліпшення лікування, цукровий діабет, прогнозування, мобільний додаток.

N.N. ZASHCHEPKINA, K.O. MESHKOVA

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

### USING OF TELEMEDICINE TO IMPROVE THE MONITORING OF PATIENTS WITH DIABETES

An electronic diary for predicting hyperglycemia as a mobile application "DiaHelper" has been developed. Firebase was chosen as the cloud platform, which allows the transfer, storage and output of real-time data. A linear regression equation was implemented in this system to advise the user on changing the treatment stage and glucose level. The mathematical model was calculated using the IBM SPSS Statistics Version 23 software product using a database of 398 patients with diabetes. The developed electronic diary can help diabetics not only to control the course of the disease, but also help prevent serious complications by preventing the onset of hyperglycemia. And online data transfer will help to analyze the course of treatment monitoring faster and better.

Key words: monitoring, telemedicine, treatment improvement, diabetes mellitus, forecasting, mobile application.

### Вступ

Основним напрямком в лікуванні цукрового діабету, як прогресуючого захворювання, є зниження ризику хронічних та гострих захворювань, за рахунок своєчасного управління та контролю. На даний момент розроблені різноманітні програми моніторингу, що визначаються лікарем після забору аналізів та планування процесу самолікування, залежно від типу захворювання. Постійний моніторинг з боку лікаря допомагає запобігти виникненню ускладнень, а для пацієнта самоконтроль є головним у передбаченні критичної зміни стану. Мобільний додаток зможе в такому разі виконувати не лише функцію щоденнику самоконтролю, а й зможе передавати дані лікарю-ендокринологу у режимі онлайн.

За допомогою математичної моделі було реалізовано прогнозування зміни виду лікування для пацієнтів та рівня глюкози зранку для жінок з гестаційним діабетом.

### Експериментальна частина. Дані моніторингу пацієнтів

Лікарями-ендокринологами для зручності було розроблено три основні програми. Програма № 1 призначена для вагітних жінок, яким встановлено діагноз гестаційний діабет, Програма № 2 – для осіб, яким встановлено діагноз цукровий діабет другого типу, Програма № 3 – для осіб, яким встановлено діагноз цукровий діабет першого типу.

До програм № 1–3 вносяться наступні параметри: рівень глюкози, ЧСС, артеріальний тиск, хлібні одиниці.

Дані для контролю пацієнта у Програмі № 1 вносяться в систему щодня. Показники рівня глюкози, ЧСС та артеріального тиску заносяться пацієнтом двічі на день: натщесерце та через дві години після вечері. Рівень вжитих хлібних одиниць записується в програму п'ять разів на день: на сніданок, після першого перекусу, на обід, після другого перекусу, на вечерю.

Дані для контролю пацієнта у Програмі № 2 вносяться в систему мінімум один раз на тиждень. Показники рівня глюкози, ЧСС, артеріального тиску заносяться шість разів на день: натщесерце, через дві години після сніданку, перед обідом, через дві години після обіду, перед вечерею, через дві години після вечері. Рівень вжитих хлібних одиниць записується в програму п'ять разів на день: на сніданок, після першого перекусу, на обід, після другого перекусу, на вечерю.

Дані для контролю пацієнта у Програмі № 3 вносяться в систему мінімум один раз на тиждень. Показники рівня глюкози, ЧСС, артеріального тиску заносяться чотири рази на день: натщесерце, перед обідом, перед вечерею, через дві години після вечері. Рівень вжитих хлібних одиниць записується в програму п'ять разів на день: на сніданок, після першого перекусу, на обід, після другого перекусу, на вечерю.

### Математична модель для прогнозування перебігу захворювання

Для прогнозування зручно використовувати лінійну регресію. Лінійна регресія – це метод математичного моделювання, що допомагає встановити взаємозв'язок між даними, що описується рівнянням, яке визначає значення залежного коефіцієнта по внеску кожної незалежної змінної. В формулі 1 наведено загальний вигляд лінійного рівняння:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n \quad (1)$$

де  $Y$  – залежна змінна,  $X_n$  – незалежні змінні,  $\beta_0$  – коефіцієнт впливу змінної.

Математичні моделі допомагають розуміти динаміку перебігу цукрового діабету. Існують різноманітні моделі, що ґрунтуються на розподілі глюкози та інсуліну, що пояснюють їх взаємодію. Усі розроблені моделі працюють при певних умовах та припущеннях та є досить корисними для проведення досліджень. Всі вони мають обмеження в прогнозуванні рівня глюкози в крові в клінічній ситуації в реальному часі через потребу в постійній інформації, що оновлюється та таких параметрах, як навантаження глюкозою та доступність інсуліну. Вищезгадані показники можуть бути різними для різних пацієнтів.

### Реалізація мобільного додатку «DiaHelper»

Спочатку було реалізовано авторизацію користувача у мобільному додатку «DiaHelper». Під час реєстрації користувача у системі необхідно заповнити незмінні поля, що ідентифікують пацієнта для лікаря-ендокринолога. Параметри, що вводяться при першому вході до системи: ім'я, прізвище, дата народження, стать, вага та тип програми моніторингу, що була визначена лікарем. В залежності від обраного типу лікування головне вікно містить різні поля для вводу даних. Реалізація створення персонального паролю, що відповідає імені користувача, розроблена за допомогою наступного алгоритму. Створений пароль програмно зашифровується та зберігається в пам'яті телефону. Під час входу зареєстрованого користувача до системи, надсилається запит про звіряння ключів. Якщо, введений користувачем пароль та розшифрований код, що зберігався в пам'яті, збігаються – пацієнту надається доступ до його щоденнику, якщо ні – доступ блокується пристроєм.

Наступним кроком було реалізовано вікно головного меню програми «DiaHelper». В цьому вікні містяться три основні блоки для введення даних: основні показники, хлібні одиниці, екстремальні показники, реалізація вікна представлена на рисунку 1 (а). Також в правому верхньому кутку міститься кнопка «Налаштування», натиснувши на яку користувач зможе отримати детальну інформацію стосовно свого виду моніторингу та змінити такі параметри, як вага та тип програми, якщо це є необхідним.

Параметри, що вносяться під час поганого самопочуття або через різке погіршення здоров'я було названо екстремальними показниками. Вони можуть бути внесені пацієнтом в блок головного меню мобільного додатку під назвою «Екстремальні показники». Користувачу надається можливість ввести рівень глюкози, ЧСС, артеріальний тиск та ХО, всі дані будуть надіслані на комп'ютер лікарю-ендокринологу окремим полем разом із датою заповнення відповідних параметрів. Реалізація вікна вводу екстремальних показників представлена на рис. 1, б.

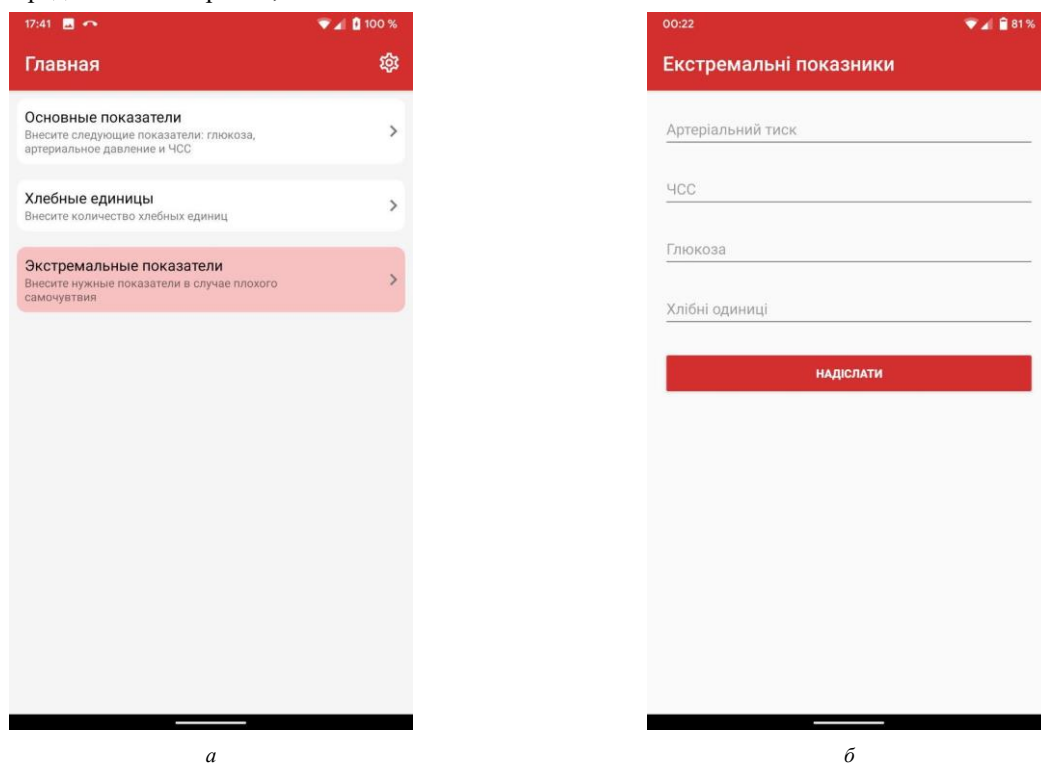


Рис. 1. а) вікно головного меню; б) вікно вводу екстремальних показників

Через різну частоту внесення параметрів їх було розділено на дві групи: основні показники та хлібні одиниці. До основних параметрів відносяться: рівень глюкози, ЧСС, артеріальний тиск. Реалізація вікон для введення даних пацієнтом залежно від типу показників представлено на рисунку 2.

Унікальним функціоналом програми можна вважати застосування математичної моделі для прогнозування настання гіперглікемії та зміни типу програми моніторингу. Дана функція реалізована в якості спливаючого блоку на головному меню. Він з'являється ввечері, після введення всіх основних показників та ХО протягом дня. Після підрахунків за формулами математичної регресії, програма зможе видати пораду, що буде інформативна не лише лікарю, а й пацієнту. Дані з цього блоку, разом з часом появи прогнозу, будуть передані лікарю окремим полем. Реалізацію вікна «Порада» разом із можливими варіантами прогнозування наведено на рис. 3.

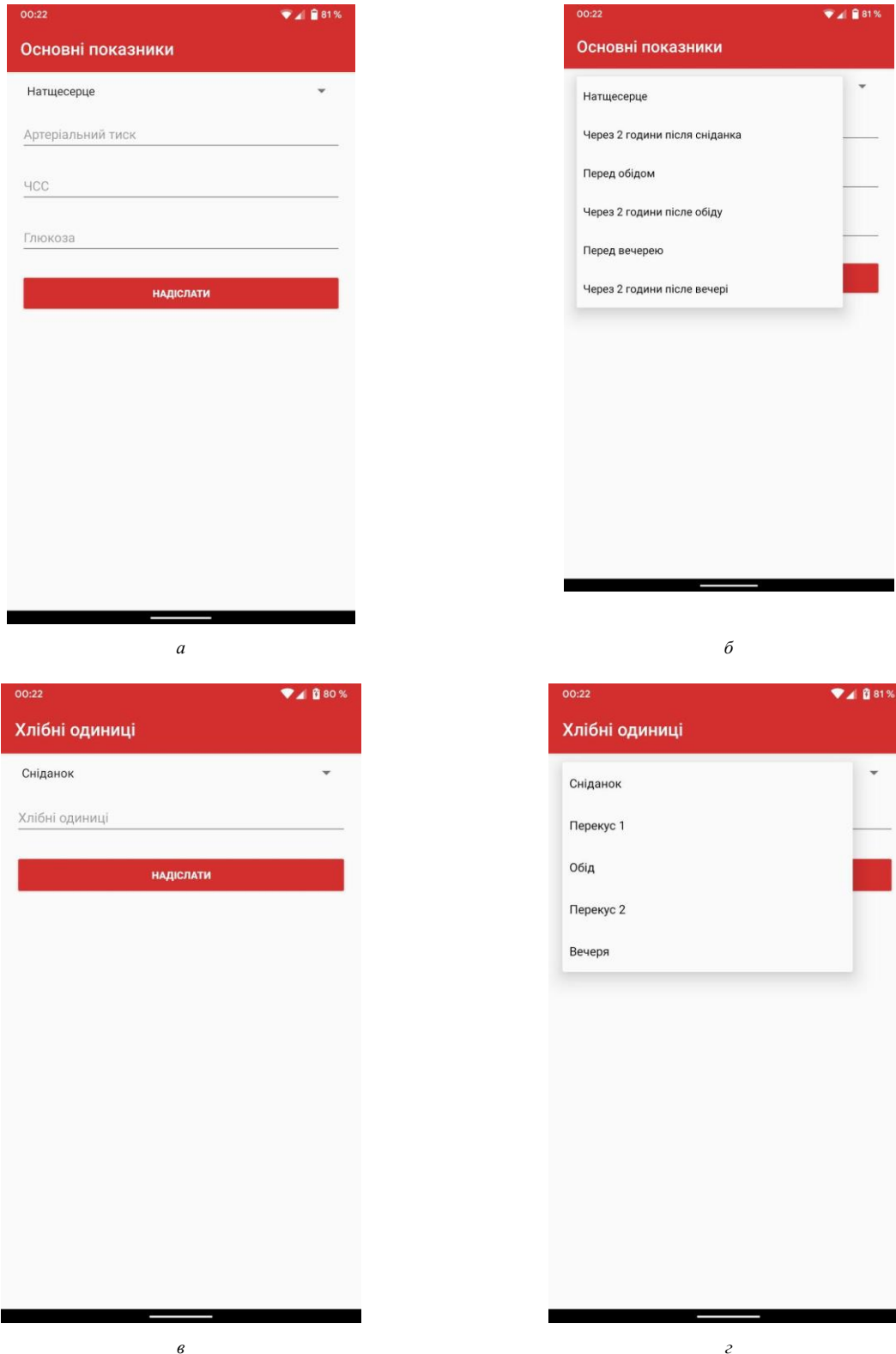


Рис. 2. Вікна вводу даних моніторингу залежно від показників: (а – основні показники; б – вибір проміжку часу для основних показників; в – ХО; г – вибір проміжку часу для ХО)

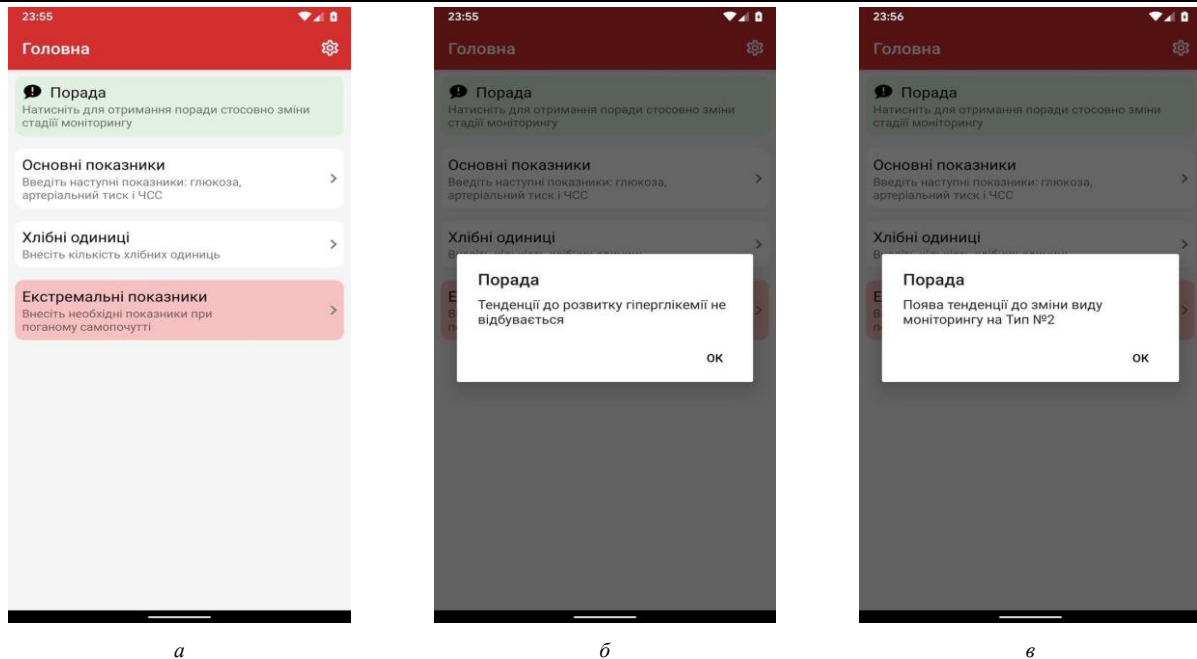


Рис. 3. Вікно з спливаючим блоком «Порада» (а – порада про відсутність зміни в моніторингу; б – порада про наявність зміни)

Увійшовши за допомогою пошти до Firebase, лікар зможе бачити дані, що були введені пацієнтом у структурованому варіанті. Дана реалізація є найбільш доцільною в даному випадку. Дані відображуються у деревовидному форматі. Першим параметром в такому разі для лікаря виступає вибір імені пацієнта. При натисканні на це поле йому надається інформація про пацієнта за основними полями, а саме: дата народження, логін користувача, тип програми, стать, вага та інші параметри. Реалізація загального вигляду онлайн бази наведена на рис. 4.

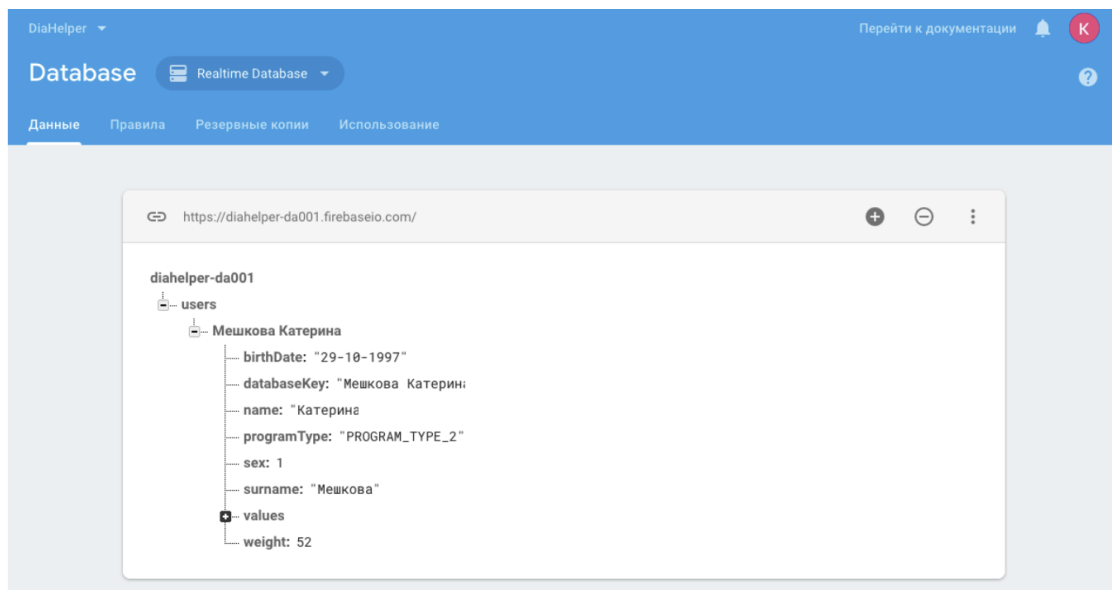


Рис. 4. Загальний вигляд онлайн-бази

### Висновки

Розроблений мобільний додаток «DiaHelper» виконує функцію щоденника самоконтролю для пацієнта та зможе передавати актуальні дані лікарю в режимі онлайн. Після вводу показників (наприкінці дня) пацієнту буде виводитися прогноз стосовно настання ризику гіперглікемії. Дана функція була реалізована за допомогою рівняння лінійної регресії, що розраховується всередині мобільного додатку.

Безкоштовна база даних в реальному часі – дуже гарна альтернатива серверу при створенні мобільних додатків в навчальних цілях. В ній містяться все необхідне для зберігання та передачі невеликої кількості параметрів.

Було розроблено спосіб передачі даних в режимі реального часу від користувача мобільним додатком до лікаря-ендокринолога. Дана онлайн база може не лише надавати актуальні значення лікарю, а й за допомогою системи callback сповіщати про введення даних пацієнтом. Реалізовану базу Firebase легко підлаштовувати під актуальні потреби лікаря.

## Література

1. Амосова К.М. Внутрішня медицина : в 3 т. : [підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів III-IV рівнів акредитації] / К.М. Амосова. – Київ, 2008. – 1056 с.
2. Chomutare T. Features of mobile diabetes applications: review of the literature and analysis of current applications compared against evidence-based guidelines / T. Chomutare, L. Fernandez-Luque, E. Arsand, G. Hartvigsen // *Journal of Medical Internet Research*. – 2011. – Vol. 13. – Issue 3. – P. 65.
3. Free C. The Effectiveness of Mobile-Health Technologies to Improve Health Care Service Delivery Processes: A Systematic Review and Meta- Analysis / C. Free, G. Phillips, L. Watson, et al. // *PLoS Medicine*. – 2013. – Vol. 10. – Issue 1.
4. Костюкевич В.М. Основні поняття математичної статистики / В.М. Костюкевич, О.А. Шинкарук // *Статистичні методи опрацювання результатів досліджень*. – 2017.
5. Axelsson O., Carlström F. Evaluation Targeting React Native in Comparison to Native Mobile Development. 2016.
6. Mobile application usability: conceptualization and instrument development. *MIS Quarterly*. P. 51.
7. Pfalzer S. Hello, Android: Introducing Google's Mobile Development Platform. 2017.
8. Обзор моделей прогнозирования временных рядов: проба пера [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://habr.com/ru/post/180409/>.
9. Защепкіна Н.М. Ідентифікація особливостей вихрострумowego методу при реалізації алгоритмів комп'ютерного моделювання для управління характеристиками деталей обладнання для виробництва харчових продуктів / Н.М. Защепкіна, В.Г. Здоренко, В. Себко, О.М. Маркіна // *Архіви матеріалознавства та технічні питання*. – 2019. – № 1 (97). – DOI: 10.5604 / 01.3001.0013.7947.
10. Защепкіна Н.М. Визначення особливостей вихрострумowego методу при реалізації алгоритмів комп'ютерного моделювання для управління характеристиками деталей обладнання для виробництва харчових продуктів / Н.М. Защепкіна, В.Г. Здоренко, В.М. Себко, О.М. Маркіна // *Журнал досягнень у галузі матеріалів та виробничого машинобудування*. – 2019. – Вип. 97, Іс. 1. – ПП. 31–40.

## References

1. Amosova K.M. Vnutrishnia medytsyna : v 3 t. : [pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh medychnykh navchalnykh zakladiv III-IV rivniv akredytatsii] / K.M. Amosova. – Kyiv, 2008. – 1056 s.
2. Chomutare T. Features of mobile diabetes applications: review of the literature and analysis of current applications compared against evidence-based guidelines / T. Chomutare, L. Fernandez-Luque, E. Arsand, G. Hartvigsen // *Journal of Medical Internet Research*. – 2011. – Vol. 13. – Issue 3. – P. 65.
3. Free C. The Effectiveness of Mobile-Health Technologies to Improve Health Care Service Delivery Processes: A Systematic Review and Meta- Analysis / C. Free, G. Phillips, L. Watson, et al. // *PLoS Medicine*. – 2013. – Vol. 10. – Issue 1.
4. Kostiukevych V.M. Osnovni poniattia matematychnoi statyky / V.M. Kostiukevych, O.A. Shynkaruk // *Statystychni metody opratsiuvannia rezultativ dosidzhen*. – 2017.
5. Axelsson O., Carlström F. Evaluation Targeting React Native in Comparison to Native Mobile Development. 2016.
6. Mobile application usability: conceptualization and instrument development. *MIS Quarterly*. R. 51.
7. Pfalzer S. Hello, Android: Introducing Googles Mobile Development Platform. 2017.
8. Obzor modelej prognozirovaniya vremennyh ryadov: proba pera [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://habr.com/ru/post/180409/>.
9. Zashchepkina N.M. Identyfikatsiia osoblyvostei vykhrostrumovoho metodu pry realizatsii alhorytmiv kompiuternoho modeliuвання dlia upravlinnia kharakterystykamy detalei obladnannia dlia vyrobnytstva kharchovykh produktiv / N.M. Zashchepkina, V.H. Zdorenko, V. Sebko, O.M. Markina // *Arkhivy materialoznavstva ta tekhnichni pytannia*. – 2019. – № 1 (97). – DOI: 10.5604 / 01.3001.0013.7947.
10. Zashchepkina N.M. Vyznachennia osoblyvostei vykhrostrumovoho metodu pry realizatsii alhorytmiv kompiuternoho modeliuвання dlia upravlinnia kharakterystykamy detalei obladnannia dlia vyrobnytstva kharchovykh produktiv / N.M. Zashchepkina, V.H. Zdorenko, V.M. Sebko, O.M. Markina // *Zhurnal dosiahnen u haluzi materialiv ta vyrobnychoho mashynobuduvannia*. – 2019. – Vyp. 97, Is. 1. – PP. 31–40.

Рецензія/Peer review : 12.09.2020 р.

Надрукована/Printed :02.11.2020 р.



## ПОКРАЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА МОДЕЛЬ АНТИВІРУСНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРИМАНОК У КОРПОРАТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

*У статті запропоновано модель та концепцію побудови мережі інтелектуальних приманок, розгорнутої в комп'ютерній мережі. Запропонована мережа представляє собою багаторівневу систему, що включає множини інтелектуальних приманок. Система приманок є мережею із власною архітектурою та системою сервісів, вбудована в мережу робочих сервісів, що значно підвищує контрольованість та захищеність. Мережа містить статичні та динамічні приманки із розташуванням, що забезпечує моніторинг як зовнішнього, так і внутрішнього втручання. Мережа приманок забезпечує збір, захоплення, інтелектуальний аналіз та контроль даних, раннє виявлення зловмисних дій та визначення їх характеру. Аналіз зловмисних дій, що виконує мережа приманок, передбачає пошук подібних зловмисників, пошук трендів у поведінці зловмисників, виявлення аномальної поведінки та прогнозування активності зловмисників на основі статистичних методів і методів машинного та глибокого навчання. В статті проведено аналіз відомих мереж приманок та результатів. Також визначено задачі для вирішення проблеми підвищення безпеки комп'ютерних мереж на основі використання мереж приманок.*

*Ключові слова: мережа приманок, зловмисні дії, виявлення комп'ютерних атак, прогнозування, корпоративні комп'ютерні мережі.*

A.S. KASHTALIAN, O.S. SAVENKO

Khmelnitskyi National University

## SECURITY IMPROVEMENT AND THE MODEL OF ANTI-VIRUS INTELLECTUAL HONEYNET IN CORPORATE COMPUTER NETWORKS

*The article proposes a model and concept of building a network of intelligent honeynet deployed in a computer network. The proposed network is a multilevel system that includes many intelligent lures. The bait system is a network with its own architecture and service system, built into the network of working services, which significantly increases controllability and security. The network contains static and dynamic lures with a location that monitors both external and internal interference. The honeynet provides data collection, capture, mining and control, early detection of malicious actions and determination of their nature. The analysis of malicious actions performed by a network of baits involves the search for similar attackers, search for trends in the behavior of attackers, detection of abnormal behavior and prediction of the activity of attackers based on statistical methods and methods of machine and deep learning. To develop honeynet focused on the use of corporate networks of enterprises (organizations) it is necessary to solve the following scientific problems: to analyze the known honeynet; analysis of methods used in baits; lure architecture; conceptual issues of building bait networks on anti-virus methods; development of a method for organizing the interaction of bait components; to formalize anti-virus baits, to allocate key features, similarly to formalize malicious software, having allocated in it the features tangent to baits which can be shown at detection; to carry out processing by the device of artificial neural networks of an event in corporate networks and dynamic change of a configuration of all honeynet, to carry out adjustment of artificial neural networks; perform experiments and process them. Solving these problems will allow you to build a honeynet that will dynamically change their configuration and have a decision-making system to respond quickly to events occurring in the network. The article analyzes the known networks of baits and results. Also, tasks have been identified to solve the problem of improving the security of computer networks based on the use of bait networks.*

**Keywords:** honeynet, malicious actions, detection of computer attacks, forecasting, corporate computer networks.

### Вступ. Постановка проблеми

Під час вирішення проблем із функціонування комп'ютерних мережних ресурсів однією з найважливіших актуальних проблем є оперативне виявлення станів мережі, які призводять до часткової або повної втрати її працездатності, знищенню, спотворенню або витоку інформації, що може бути результатом зловмисних дій [1, 2]. Раннє виявлення таких станів дозволяє своєчасно усунути їх причину та уникнути наслідків. Для виявлення зловмисних дій використовується широкий спектр систем. Проблеми захисту інформаційних ресурсів мереж вирішуються за допомогою брандмауерів (firewall), антивірусів, систем виявлення атак (Intrusion Detection System – IDS), систем контролю цілісності, криптографічних засобів захисту [3].

Використання брандмауера дозволяє контролювати проходження трафіку між локальною мережею та мережею Інтернет. Ґрунтуючись на характеристиках мережного трафіку, включаючи запитувані сервіси, джерела та визначені адреси, брандмауер приймає рішення про проходження трафіку у внутрішню мережу. Основними недоліками брандмауера є: брандмауер не може захистити від атак, які він пропускає; брандмауер не захищає від внутрішніх атак; брандмауер не може захистити від вірусу, розміщеного у файлі чи програмі.

IDS сенсори розміщують в різних місцях мережі для виявлення зловмисних подій. Робота IDS ґрунтується на пошуку попередньо визначених сигнатур зловмисних подій. Звичайно сигнатури або правила зберігаються в базах, відповідають IDS. Використання IDS також має ряд недоліків: IDS має моніторити весь мережний трафік; важко забезпечити високу швидкодію сучасних мереж із IDS; оскільки IDS моніторить весь трафік, то генерує надзвичайну кількість попереджень, що вимагає досить багато ресурсів для аналізу, крім того велика кількість цих попереджень є хибно позитивними; такі системи практично не можуть виявити нові атаки або зловмисні дії.

Характерними особливостями цих систем є або їх періодичне та короткочасне застосування для розв'язку визначеної проблеми, або постійне використання, але зі статичними налаштуваннями. В результаті методи аналізу, що здебільшого використовуються в сучасних системах, направлені на виявлення відомих та описаних втручань, але часто не можуть виявити їх модифікації або нові типи, що може зробити їх неефективними. Тому, актуальним напрямом дослідження є пошук більш ефективних шляхів виявлення зловмисних дій в роботі мережі. Основною вимогою до таких підходів є можливість виявлення будь-яких типів зловмисних втручань, в тому числі і нових, а також впливів, розподілених у часі. Сучасним перспективним напрямом для виявлення нових типів загроз є використання приманок в комп'ютерних мережах. Метою дослідження є підвищення достовірності процесу виявлення зловмисного програмного забезпечення в корпоративних комп'ютерних мережах на основі створення мереж приманок.

Метою роботи є проведення аналізу відомих приманок, їх елементів, виділення недоліків та визначення напрямів побудови ефективних систем виявлення зловмисних дій із залученням приманок та їх мереж.

### Відомі методи виявлення приманок

Актуальні дослідження показують, що приманки, особливо об'єднані в мережі, можуть бути надзвичайно корисними для оцінки загроз у локальних мережах та мережі Інтернет. Вони виконують функції збору та аналізу інформації щодо зловмисних дій в мережах [4]. В роботах [5, 6] наведено результати використання мережі, що містить невелику низькорівневу приманку Dionaea та Kippo. Серед підходів до аналізу даних приманок переважають пряме вимірювання атак та їхнього походження. Kippo є низькорівневою приманкою, написаною на Python, що емулює SSH сервер (оболонку), містить імітацію файлової системи та можливість імітувати додавання та видалення файлів. Приманка Dionaea підтримує емуляцію доступних сервісів, включаючи SMB, http, ftp, tftp, SIP, сервери баз даних MSSQL та MySQL. Основним завданням мережі є ідентифікація атак та загроз, що надходять з мережі Інтернет, визначити найбільш вразливі місця сервісів під операційними системами Windows та Linux, з метою чого проводиться статистичний аналіз.

Крім приманок Dionaea та Kippo розроблено ряд приманок [7], серед яких низькорівневі та високорівневі, призначені для виявлення загроз сервісам з операційними системами Linux та Windows, клієнтські та серверні, реалізовані на різних мовах програмування. Існуючі приманки включають інтернет-сервіси, SMTP сервіси (приманки поштових сервісів), SSH приманки, HTTP та web приманки, телефонні приманки, безпроводні, мобільні та Bluetooth приманки, IoT приманки, ICS/SCADA приманки та спеціалізовані приманки. Також на сьогоднішній день розроблено ряд додаткових інструментів, дотичних до приманок, зокрема інструменти, що розширюють функціональність приманок та мереж та інструменти для виявлення приманок. Різноманіття приманок відображає їх універсальність у виявленні загроз у різних типах сервісів та мереж.

Окремим видом приманок є тінюві приманки, які представляють собою гібридну архітектуру, що поєднує ознаки приманок та систем виявлення втручань [8, 9]. На високому рівні використовуються різні засоби виявлення аномалій для моніторингу трафіку та захисту мережі. Трафік, який визначений цими засобами як аномальний, передається для подальшої обробки на «тінюву приманку» для подальшого уточнення його статусу. Тінюва приманка розділяє всі внутрішні стани робочого сервісу і здатна виявляти потенційні загрози. Таким чином, атаки підтверджені приманкою, відфільтровуються, а нормальний трафік, помилково класифікований як аномальний, опрацьовується коректно. Вихідні дані з тінювої приманки надалі використовуються для подальшого вдосконалення систем виявлення втручань, зменшуючи кількість хибно позитивних результатів.

Підхід до використання приманок, який змінює їх пасивну роль очікування зловмисників на активне ефективне використання у взаємодії приманок та мережі, в якій вони розгорнуті, розглядається в роботі [10]. Це передбачає розпізнавання зловмисних дій на їх початковому етапі та перенаправлення мережного трафіку на приманку до того як зловмисні дії завдадуть реальної школи. Використовується моніторинг для визначення ранньої стадії зловмисних дій, визначення та прогнозування пізніх стадій.

Приманки використовуються у віртуальних середовищах для попередження зловмисних дій та реагування на них [10]. Віртуалізація відіграє значну роль в останніх трендах хмарних обчислень та зберігання даних, що ускладнює задачу одночасного надання якісного сервісу та захисту від втручань. Використання мережі віртуальних приманок дає можливість використовувати ефективну стратегію попередження втручань агресивних зловмисників нарівні з стратегією виявлення менш агресивних зловмисників. Віртуальні приманки та мережі віртуальних приманок розробляються також з метою зменшення витрат у порівнянні з фізичними приманками [12].

Сучасний рівень розвитку технологій дозволяє підключати до локальних мереж та мережі інтернет значний перелік різноманітних пристроїв, в тому числі це стосується інтернету речей. Підключення локальних пристроїв до таких мереж несе в собі загрозу не тільки доступу до даних, а також безпосередньо втручань в роботу цих пристроїв. Для збереження конфіденційності інформації та запобігання втручань в роботу використовуються приманки [13].

Використання приманок для захисту мереж не залишається поза увагою зловмисників. Приманки також можуть бути ідентифіковані зловмисниками з використанням різних підходів [14]. Ці підходи досліджуються та моделюються з метою захисту та здійснення контрзаходів щодо виявлення приманок [15, 16]. Для автоматичної ідентифікації приманок використовуються сучасні методи, в тому числі методи

машинного навчання, такі як дерева рішень та випадковий ліс [17]. Але їх використання ускладнює процеси дослідження мережі та її вузлів зі сторони зловмисників. В залежності від потреб підвищення рівня безпеки в корпоративних комп'ютерних мережах і на виконання встановленої політики безпеки в підприємстві (організації) розгортання мереж приманок може бути ефективним рішенням для підвищення рівня безпеки. Для його реалізації потрібне вирішення проблеми комплексної побудови ефективної мережі приманок з врахування архітектури корпоративних комп'ютерних мереж та сучасних методів прийняття рішень для оперативного реагування систем захисту на комп'ютерні атаки.

### Узагальнена модель приманки в корпоративних комп'ютерних мережах

Приманка встановлюється в мережі з метою бути атакованою, і не виконує інших функцій. Тому, передбачається, що на приманках немає ніякого корисного трафіку. Якщо ж на приманці фіксується будь-яка активність, то така активність вважається зловмисною [18]. Виходячи з такого визначення задач приманок і їх місця в системах захисту, можна представити узагальнену модель приманки в складі таких елементів (рис. 1) [19]:

1. Продукційна система приманки (production system, virtual production system) – власне «приманка». Вона забезпечує honeypot-файли та фальшиві системні ресурси для зловмисників. Система автоматично реагує на запити зловмисників з метою імітації реальної продукційної системи.

2. Брандмауер – забезпечує файли реєстрації інформації спроб зловмисника отримати доступ до приманки. Брандмауер налаштовується на запис у файл усіх активностей щодо приманки.

3. Вузол моніторингу – відслідковує, оцінює та фіксує загрози, що виникають в мережі внаслідок активності зловмисників. Аналіз порядку, послідовності, часових відміток та типів пакетів, що використовуються зловмисником для доступу до приманки, комбінації кнопок, системний доступ, зміни файлів тощо дозволяє ідентифікувати інструменти та методологію, що використовує зловмисник та його наміри (несанкціонований доступ до даних, спроби віддаленого керування тощо).

4. Вузол попередження – призначений для генерування попереджень про отриманий або відправлений з приманки трафік адміністратору або системі контролю.

5. Вузол реєстрації – забезпечує ефективне зберігання для всіх файлів реєстрації трафіку між брандмауером і приманкою.

Задамо узагальнену модель приманки з врахуванням її складових:

$$M = \langle P, B, (V_1, V_2, V_3) \rangle, \quad (1)$$

де  $P$  – продукційна система приманки;  $B$  – брандмауер;  $V_1$  – вузол моніторингу;  $V_2$  – вузол попередження;  $V_3$  – вузол реєстрації.

Робота приманки в циклі виявлення та захисту від зловмисних дій розповсюджується на етапи попередження, виявлення, реагування та дослідження зловмисних дій та атак.

Функція попередження базується на тому, що атаки передбачають пошук вразливих складових, систем та сервісів та здійснення щодо них певних несанкціонованих дій. Приманка виконується в якості такого вразливого сервісу, привабливого для зловмисників. Таким чином, часто зловмисні сервіси починають атакувати в першу чергу приманку. Захопивши активність зловмисника сервіс-приманка використовує засоби для утримання зловмисника, сповільнюючи його доступ до робочих сервісів, або в найкращому випадку запобігаючи йому. В цьому випадку використання приманки дозволяє попередити атаки щодо діючих сервісів та систем.

Функція виявлення модифікованих атак та нових типів атак приманками є критично важливою функцією для швидкого реагування та попередження втручання в мережу. На цьому етапі приманки формують невеликий та змістовний об'єм інформації про несанкціоновані дії.

Функція реагування на дії зловмисників вимагає попередньої інформації як щодо самого зловмисника, так і щодо його попередніх дій та завданої шкоди. Приманки збирають всю інформацію про атаку з самого її початку, на відміну від робочих сервісів з системами виявлення втручання. Крім того, взаємодія приманки із зловмисником може надати додаткову інформацію, яка необхідна для ефективного реагування на атаку.

Функція дослідження. Приманки є одним з найпотужніших засобів для ефективного дослідження нових видів зловмисних дій та їх модифікацій. Вся інформація, зібрана приманками, стосується тільки несанкціонованих дій, тому це є найбільш ефективний спосіб отримання такої інформації у порівнянні з іншими, наприклад з аналізом усього трафіку робочих сервісів.

### Аналіз прикладу застосування приманок в комп'ютерних мережах

Застосування статистичних методів дає можливість глибоко дослідити поведінку зловмисників. Але більш затребуваними є приманки, які аналізують події динамічно і можуть приймати рішення оперативно

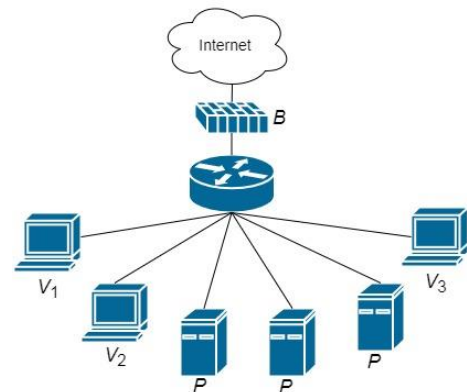


Рис. 1. Узагальнена модель приманки

без втручання користувача.

Розглянемо мережі приманок AWS описані в [20]. Гістограма атак по приманках відображає, яка приманка була найбільше атакована. Аналіз сервісів цієї приманки дає інформацію про найбільш привабливі сервіси для зловмисників. Приклад розподілу атак показано на рис. 2, максимальна кількість атак припадає на приманку honeypot\_0003. Рис. 3 відображає геолокацію зловмисників. Статистичний аналіз дає велику кількість інформації. Ще більше інформації можна отримати із використанням методів машинного та глибокого навчання.

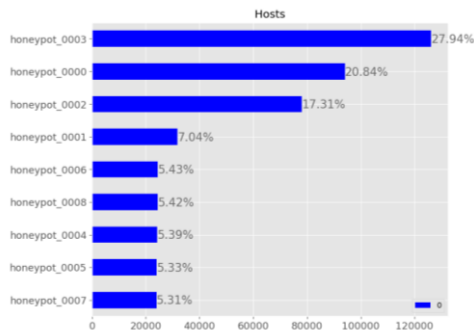


Рис. 2. Розподіл навантаження атак на приманку [20]

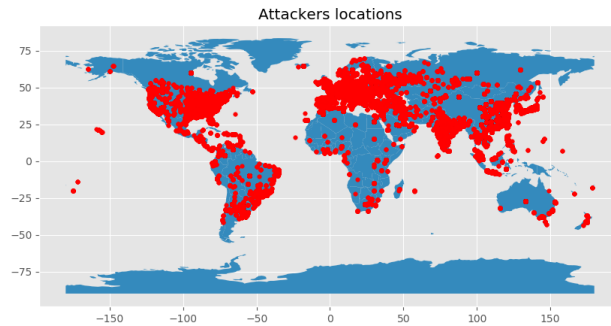


Рис. 3. Геолокація зловмисників [20]

Розглянутий приклад демонструє можливості такого засобу підвищення безпеки в комп'ютерних мережах як приманки. Цей напрям дослідження є перспективним. Комплексний аналіз атак, зафіксованих мережею приманок, передбачає пошук подібних зловмисників; пошук трендів в поведінці зловмисників; аналіз викидів, які відображають підвищення активності окремих зловмисників; сумарний аналіз викидів, що відображає підвищення сумарної активності; прогнозування активності зловмисників. Проведені дослідження стосуються використання приманок у вузлах комп'ютерних мереж та окремих комп'ютерах, всі з них під'єднані до мережі Internet. Але важливою проблемою є проблема підвищення безпеки в корпоративних мережах і застосування для цього мереж приманок. Тобто вирішення цієї проблеми локально в корпоративних мережах підприємств (організацій).

#### Задачі для вирішення проблеми побудови мереж приманок

Для розробки мереж приманок орієнтованих на використання в корпоративних мережах підприємств (організацій) необхідно розв'язати наступні наукові задачі: провести аналіз відомих мереж приманок; аналіз методів використовуваних в приманках; архітектура приманок; концептуальні питання побудови мереж приманок на задачах антивірусних методів; розробка методу організації взаємодії компонентів приманок; формалізувати антивірусні приманки, виділити ключові особливості, аналогічно формалізувати зловмисне програмне забезпечення, виділивши в ньому дотичні для приманок особливості, які можуть проявлятися при виявленні; здійснити обробку апаратом штучних нейронних мереж події в корпоративних мережах та динамічну зміну конфігурування всієї мережі приманок, провести налаштування штучних нейронних мереж; здійснити експерименти та провести їх обробку.

Розв'язання цих задач дозволить здійснити побудову мережі приманок, які динамічно змінюватимуть свою конфігурацію та матимуть систему прийняття рішень для оперативного реагування на події, що протікатимуть в мережі.

#### Висновки

Застосування приманок є незамінним у боротьбі зі зловмисними діями, інформація про які обмежена або відсутня. Мережа інтелектуальних приманок дозволить моніторити зловмисні дії в усіх системах корпоративної комп'ютерної мережі, опрацьовувати підозрілий трафік з метою зменшення хибно позитивних спрацювань, проводити аналіз зловмисних дій на основі поточних та минулих подій, виконувати раннє виявлення маловідомих та невідомих атак, прогнозувати можливу поведінку зловмисників, оптимально використовувати ресурси комп'ютерної мережі.

#### Література

1. Lysenko S. Information technology for botnets detection based on their behaviour in the corporate area network / S. Lysenko, O. Savenko, K. Bobrovnikova, A. Kryshchuk, B. Savenko // Communications in Computer and Information Science, ISSN: 1865–0929. – 2017. – Vol. 718. – P. 166–181.
2. Савенко О. С. Дослідження методів антивірусного діагностування комп'ютерних мереж / О. С. Савенко, С. М. Лисенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 2, т. 2. – С. 120–126.
3. Савенко О.С. Моделі незадокументованих закладок програмного забезпечення в локальних комп'ютерних мережах / О.С. Савенко, В.П. Паюк, Б.О. Савенко, А.С. Каштал'ян // Вимірювальна та

обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – № 2. – С. 84–90.

4. Pavol Sokol, Patrik Pekarčík, Tomáš Bajtoš. Data Collection and Data Analysis in Honeypots and Honeynets. URL: <http://spi.unob.cz/papers/2015/2015-19.pdf> [Access 18.04.2020].

5. Tomas Sochor, Matej Zuzcak. Study of Internet Threats and Attach Methods Using Honeypots and Honeynets. Springer International Publishing Switzerland 2014, A. Kwiecień, P. Gaj, and P. Stera (Eds.): CN 2014, CCIS 431, pp. 118–127, 2014.

6. Tomas Sochor, Matej Zuzcak. Attractiveness Study of Honeypots and Honeynets in Internet Threat Detection. Springer International Publishing Switzerland 2015, P. Gaj et al. (Eds.): CN 2015, CCIS 522, pp. 69–81, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-19419-6\_7.

7. Marcin Nawrocki, Matthias Wählisch, Thomas C. Schmidt, Christian Keil, Jochen Schönfelder. A Survey on Honeypot Software and Data Analysis. arXiv:1608.06249v1 [cs.CR] 22 Aug 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1608.06249> [Access 26.03.2020]

8. S. Sidiroglou, A.D. Keromytis. Composite Hybrid Techniques for Defending Against Targeted Attacks. Part of the Advanced in Information Security book series (ADIS, volume 27), 2007, pp. 213–229.

9. K.G. Anagnostakis, S. Sidiroglou, M. Polychronakis, A.D. Keromytis, P. Markatos. Shadow Honeypots. International Journal of Computer and Network Security, Vol. 2, No. 9, September 2010, 16 p.

10. Martin Husak, Jan Vykopal. POSTER: Dragging Attackers to Honeypots for Effective Analysis of Cyber Threats. URL: [https://is.muni.cz/repo/1188174/POSTER-Dragging\\_Attackers\\_to\\_Honeypots\\_for\\_Effective\\_Analysis\\_of\\_Cyber\\_Threats.pdf](https://is.muni.cz/repo/1188174/POSTER-Dragging_Attackers_to_Honeypots_for_Effective_Analysis_of_Cyber_Threats.pdf) [Access 30.05.2020]

11. Frank Yeong-Sung Lin, Yu-Shun Wang, Ming-Yang Huang. Effective Proactive and Reactive Defense Strategies against Malicious Attacks in a Virtualized Honeynet. Journal of Applied Mathematics, Vol. 2013, Article ID 518213, 11 p. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jam/2013/518213/> [Access 10.04.2020]

12. Niels Provos. A Virtual Honeypot Framework. URL: <http://www.citi.umich.edu/u/provos/papers/honeyd.pdf> [Access 12.04.2020]

13. Sai Sudha Gadde, Rama Krishna Srinivas Ganta, ASALG Gopala Gupta, Raghava Rao K, KRR Mohan Rao. Securing Internet of Things (IoT) Using HoneyPots. International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.7), 2018, pp. 820–824.

14. R.N. Dahbul, C. Lim, J. Purnama Enhancing Honeypot Deception Capability Through Network Service Fingerprinting. International Conference on Computing and Applied Informatics 2019, Journal of Physics: Conf. Series 801 (2017) 012057

15. O. Surin, F. Hussain, R. Hussain, S. Ostrovskaya, A. Polovinkin, J.Y. Lee, X. Fernando. Probabilistic Estimation of Honeypot Detection in Internet of Things Environment. 2019 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), Honolulu, HI, USA, 18–21 Feb. 2019, pp. 191–196.

16. Cheng Huang, Jiaxuan Han, Xing Zhang, Jiayong Liu. Automatic Identification of Honeypot Server Using Machine Learning Techniques. Hindawi, Security and Communication Networks Volume 2019, Article ID 2627608, 8 p.

17. Martin Husak, Jana Komarkova, Elias Bou-Harb, Pavel Celeda. Survey of Attack Projection, Prediction, and Forecasting in Cyber Security. IEEE Communication Surveys & Tutorials. September 2018. URL: [https://www.researchgate.net/publication/327449459\\_Survey\\_of\\_Attack\\_Projection\\_Prediction\\_and\\_Forecasting\\_in\\_Cyber\\_Security](https://www.researchgate.net/publication/327449459_Survey_of_Attack_Projection_Prediction_and_Forecasting_in_Cyber_Security) [Access 12.05.2020]

18. Mohssen Mohammed, Habib-ur Rehman. Honeypots and Routers: Collecting Internet Attacks. CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, 2016. 197 p.

19. R.C. Joshi, Anjali Sardana Honeypots. A new Paradigm to Information Security. Science Publishers, P.O. Box 699, Enfield, NH 03748, USA, 2011. 323 p.

20. AWS Honeypot Database is an open-source database including information on cyber attacks/attempts, Data has 451,581 data points collected from 9:53 pm on 3 March 2013 to 5:55 am on 8 September 2013. URL: <https://www.kaggle.com/casimian2000/aws-honeypot-attack-data> [Access 20.04.2020].

#### References

1. Lysenko S. Information technology for botnets detection based on their behaviour in the corporate area network / S. Lysenko, O. Savenko, K. Bobrovnikova, A. Kryshchuk, B. Savenko // Communications in Computer and Information Science, ISSN: 1865–0929. – 2017. – Vol. 718. – P. 166–181.

2. Savenko O.S Research of methods of antiviral diagnostics of computer networks / O.S. Savenko, S.M. Lysenko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2007. – Issue 2, vol. 2. – P. 120–126.

3. Savenko O.S., Payuk V.P., Savenko B.O, Kashtalyan A.S. Models of undocumented software bookmarks in local computer networks. Measuring and computing equipment in technological processes. 2019. № 2. P. 84–90.

4. Pavol Sokol, Patrik Pekarčík, Tomáš Bajtoš. Data Collection and Data Analysis in Honeypots and Honeynets. URL: <http://spi.unob.cz/papers/2015/2015-19.pdf> [Access 18.04.2020].

5. Tomas Sochor, Matej Zuzcak. Study of Internet Threats and Attach Methods Using Honeypots and Honeynets. Springer International Publishing Switzerland 2014, A. Kwiecień, P. Gaj, and P. Stera (Eds.): CN 2014, CCIS 431, pp. 118–127, 2014.

6. Tomas Sochor, Matej Zuzcak. Attractiveness Study of Honeypots and Honeynets in Internet Threat Detection. Springer International Publishing Switzerland 2015, P. Gaj et al. (Eds.): CN 2015, CCIS 522, pp. 69–81, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-19419-6\_7.

7. Marcin Nawrocki, Matthias Wählisch, Thomas C. Schmidt, Christian Keil, Jochen Schönfelder. A Survey on Honeypot Software and Data Analysis. arXiv:1608.06249v1 [cs.CR] 22 Aug 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1608.06249> [Access 26.03.2020]

8. S. Sidiroglou, A.D. Keromytis. Composite Hybrid Techniques for Defending Against Targeted Attacks. Part of the Advanced in Information Security book series (ADIS, volume 27), 2007, pp. 213–229.

9. K.G. Anagnostakis, S. Sidiroglou, M. Polychronakis, A.D. Keromytis, P. Markatos. Shadow Honeybots. *International Journal of Computer and Network Security*, Vol. 2, No. 9, September 2010, 16 p.
10. Martin Husak, Jan Vykopal. POSTER: Dragging Attackers to Honeybots for Effective Analysis of Cyber Threats. URL: [https://is.muni.cz/repo/1188174/POSTER-Dragging\\_Attackers\\_to\\_Honeybots\\_for\\_Effective\\_Analysis\\_of\\_Cyber\\_Threats.pdf](https://is.muni.cz/repo/1188174/POSTER-Dragging_Attackers_to_Honeybots_for_Effective_Analysis_of_Cyber_Threats.pdf) [Access 30.05.2020]
11. Frank Yeong-Sung Lin, Yu-Shun Wang, Ming-Yang Huang. Effective Proactive and Reactive Defense Strategies against Malicious Attacks in a Virtualized Honeybot. *Journal of Applied Mathematics*, Vol. 2013, Article ID 518213, 11 p. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jam/2013/518213/> [Access 10.04.2020]
12. Niels Provos. A Virtual Honeybot Framework. URL: <http://www.citi.umich.edu/u/provos/papers/honeyd.pdf> [Access 12.04.2020]
13. Sai Sudha Gadde, Rama Krishna Srinivas Ganta, ASALG Gopala Gupta, Raghava Rao K, KRR Mohan Rao. Securing Internet of Things (IoT) Using HoneyPots. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2.7), 2018, pp. 820-824.
14. R.N. Dahbul, C. Lim, J. Purnama Enhancing Honeybot Deception Capability Through Network Service Fingerprinting. *International Conference on Computing and Applied Informatics 2019, Journal of Physics: Conf. Series 801 (2017) 012057*
15. O. Surmin, F. Hussain, R. Hussain, S. Ostrovskaya, A. Polovinkin, J.Y. Lee, X. Fernando. Probabilistic Estimation of Honeybot Detection in Internet of Things Environment. *2019 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Honolulu, HI, USA, 18-21 Feb. 2019, pp. 191-196.
16. Cheng Huang, Jiakuan Han, Xing Zhang, Jiayong Liu. Automatic Identification of Honeybot Server Using Machine Learning Techniques. *Hindawi, Security and Communication Networks Volume 2019, Article ID 2627608*, 8 p.
17. Martin Husak, Jana Komarkova, Elias Bou-Harb, Pavel Celeda. Survey of Attack Projection, Prediction, and Forecasting in Cyber Security. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, September 2018. URL: [https://www.researchgate.net/publication/327449459/Survey\\_of\\_Attack\\_Projection\\_Prediction\\_and\\_Forecasting\\_in\\_Cyber\\_Security](https://www.researchgate.net/publication/327449459/Survey_of_Attack_Projection_Prediction_and_Forecasting_in_Cyber_Security) [Access 12.05.2020]
18. Mohssen Mohammed, Habib-ur Rehman. *Honeybots and Routers: Collecting Internet Attacks*. CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, 2016. 197 p.
19. R.C. Joshi, Anjali Sardana Honeybots. A new Paradigm to Information Security. Science Publishers, P.O. Box 699, Enfi eld, NH 03748, USA, 2011. 323 p.
20. AWS Honeybot Database is an open-source database including information on cyber attacks/attempts, Data has 451,581 data points collected from 9:53 pm on 3 March 2013 to 5:55 am on 8 September 2013. URL: <https://www.kaggle.com/casimian2000/aws-honeybot-attack-data> [Access 20.04.2020].

Рецензія/Peer review : 08.10.2020 p.

Надрукована/Printed :04.11.2020 p.

С.М. ЛИСЕНКО, Т.М. КИСІЛЬ, Ю.О. НІЧЕПОРУК, А.В. ГОРОШКО  
Хмельницький національний університет

## МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРЗАГРОЗ ТА ШПЗ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ САМОАДАПТИВНОСТІ

У роботі представлено метод забезпечення живучості комп'ютерних систем в умовах кіберзагроз на основі самоадаптивності, який дозволяє здійснювати адаптивне реконфігурування компонентів КС шляхом сценаріїв безпеки та забезпечує здатність системи до стійкого її функціонування в ситуації наявності кібератак. Живучість забезпечується адаптивним відновленням мережі. Ця реконструкція проводиться на основі сценарію безпеки, прийнятого на основі аналізу раніше зібраних ознак, притаманних кібератакам. Ознаки атак формуються як вектори ознак і підлягають класифікації. Результатом класифікації є віднесення об'єкту класифікації до відповідного класу, який відповідає певній кібератаці. Метою методу є вибір необхідного сценарію захисту мережевої реконструкції відповідно до кібератак. Експериментальні дослідження свідчать про високу достовірність запропонованого методу, зокрема достовірність виявлення кібератак до 99% та здатності забезпечення живучості КС в ситуації кібератак з рівнем до 70%.

Ключові слова: шкідливе програмне забезпечення, живучість, комп'ютерні системи, достовірність виявлення, кібератака, мережний трафік.

S. LYSENKO, T. KYSIL, Y. NICHEPORUK, A. GOROSHKO  
Khmelnyskyi National University

## METHOD FOR CYBER THREATS AND MALWARE DETECTION TO ENSURE THE COMPUTER SYSTEMS RESILIENCE OF IN CORPORATE NETWORKS BASED ON SELF-ADAPTIVITY

The paper presents a method for cyber threats and malware detection to ensure the computer systems resilience of in corporate networks based on self-adaptivity. The resilience is ensured by the adaptive reconfiguration of the network. Answer the question how the network has to be reconfigured is received by the means of the cluster analysis of the cyberattacks' features, which are observed in the network and network hosts. In order to choose the needed security scenarios, the proposed method uses SVM approach. The objects of classification are the feature vectors, which contain the set of the demonstrations, which may indicate the appearance of cyber threats on the in corporate networks. The purpose of the technique is to choose the network and network hosts' reconfiguration scenarios according to the cyber-attacks, performed by the botnets. The learning stage of the method consists of the following steps: a knowledge formation about the features that may indicate the cyberattacks performed by the botnet; presentation the knowledge about the cyberattacks as the set of feature vectors; a labeled data creation of the feature vectors of the cyberattacks based on knowledge. The monitoring stage of the method consists of the following steps: gathering of the inbound and outbound network traffic; gathering of the information about the hosts' network activity and reports of the hosts' antiviruses; construction of the feature vector, based on the information obtained from the network and hosts; implementation of the semi-supervised fuzzy c-means clustering for the choice of the security scenarios; implementation of the security scenarios for the corporate area network's infrastructure. Usage of the developed system makes it possible to detect known and unknown multi vector cyberattacks performed by the botnets. Experimental results demonstrated that the implemented principals of proposed technique into show the ability to ensure the resilient network functioning in the situation of the cyberattacks by botnets at the rate at about 70%.

Keywords: malware, computer systems, resilience, detection efficiency, network traffic, cyberattack.

### Вступ

Сьогодні актуальною проблемою, яка призводить до негативних економічних та соціальних наслідків, є проблема боротьби із кіберзагрозами. З кожним роком результати їх впливу набирають значного масштабу, завдаючи шкоди усім сферам, де застосовуються комп'ютерні системи. Відомі методи та засоби не в змозі в повній мірі забезпечити належний рівень інформаційної безпеки. Одним з напрямків кібербезпеки, що сприяє своєчасному виявленню атак, запобіганню їх наслідків та зменшенню їх впливу є синтез живучих (резильєнтних) комп'ютерних систем – систем здатних продовжувати функціонувати в умовах здійснення кібератак [1, 2]. Тому метою роботи є підвищення достовірності виявлення атак та шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ) з метою забезпечення живучості комп'ютерних систем в корпоративних мережах в комп'ютерних системах (КС) шляхом розроблення методу.

### Пов'язані роботи

Сьогодні в наукових джерелах широко представлені різні методи виявлення кібератак в КС. Зокрема, в [3] запропоновано метод, що заснований на обробці подій для вирішення проблеми атак. У рамках цього підходу розроблено архітектуру IDS на основі моделі обробки подій (EPM). Це засновані на правилах IDS, в яких правила зберігаються в репозиторії шаблонів правил і приймають SQL і EPL Epses в якості посилання. В [4] представлено протокол аутентифікації атак КС, який використовує легкий метод шифрування, заснований на операції XOR для захисту від підрбок і захисту конфіденційності. Для генерації синтезованих компонентів пропонованого полегшеного протоколу шифрування використовується САПР Quartus II. Існуючий механізм безпеки RFID-систем може бути посилений з акцентом на криптографічні протоколи. В [5] запропоновано метод виявлення Sibil атаки. Він представляє собою схему захисту, включаючи виявлення Sibil атаки на основі соціальних графів (SGSD), а виявлення Sibil атаки на

основі класифікації поведінки (BCSD). В [6] запропоновано IDS для виявлення атаки Warmhole атака за допомогою тренажера Cooja. Запропонована система використовує централізований та розподілений архітектуру для розміщення IDS. В [7] подано технологію виявлення Sinkhole атаки INTI (Intrusion Detection of Sinkhole attacks on 6LoWPAN). Інформаційна технологія INTI прагне зменшити негативний вплив атаки на КС, поєднує в собі стратегії спостереження, репутації та довіри для виявлення зловмисників шляхом аналізу поведінки пристроїв. В [8] описано інформаційну технологію радіочастотної ідентифікації в RFID – ключового протоколу шифрування, який забезпечує безпеку зв'язку, який може забезпечити аутентифікацію між міткою і сервером. В [9] описана інформаційна технологія захисту CloudEyes від атак мережного типу, яка надає ефективні та надійні служби безпеки для пристроїв з обмеженими ресурсами. CloudEyes виявляє підозрілу фільтрацію, заснована на структурі зворотних ескізів і забезпечує ретроспективне і точне наведення фрагментів злочинної сигнатури. В [10] запропонували інформаційну технологію BMIDS (Behavioral Modeling IDS), яка використовує поведінкові шаблони. В [11] представлено нейромережний метод виявлення DDoS/DoS-атак. Виявлення було засноване на класифікації нормальних і небезпечних шаблонів. Модель ANN була перевірена на модельованій мережі Інтернету речей, що демонструє більше 99 % точності. В [12] запропоновано інформаційну технологію на основі специфікації для захисту мережевої топології на основі RPL. Основна ідея полягає у вивченні станів, переходів і відповідної статистики на основі аналізу файлу трасування. Результати експериментів показують, що вище вказані методи здатні виявляти атаки, однак не забезпечують живучість КС в умовах здійснення атак.

### Метод виявлення кіберзагроз та ШПЗ для забезпечення живучості комп'ютерних систем в корпоративних мережах на основі самоадаптивності

З метою реалізації принципів адаптивності та здатності до еволюції для забезпечення живучості (резильєнтності) КС в умовах кібератак розроблено метод забезпечення живучості (резильєнтності) комп'ютерних систем в умовах кіберзагроз на основі самоадаптивності, який дозволяє здійснювати адаптивне реконфігурування компонентів КС шляхом сценаріїв безпеки та забезпечує здатність системи стійкого її функціонування в ситуації наявності кібератак [13, 14]. Живучість (резильєнтність) забезпечується адаптивною відповіддю мережі на атаку шляхом її реконфігурації, яка здійснюється на основі застосування сценарію безпеки. Висновок щодо необхідного сценарію безпеки здійснюється на основі аналізу раніше зібраних ознак, притаманних кібератакам.

Ознаки атак формуються як вектори ознак і підлягають класифікації. Результатом класифікації є віднесення об'єкту класифікації до відповідного класу, який відповідає певній кібератаці.

Метою методу є вибір необхідного сценарію захисту мережевої реконструкції відповідно до кібератак. Метод включає кроки навчання та виявлення.

1. Навчання складається з наступних етапів:

1.1. Формування знань на основі особливостей, які можуть вказувати на кібератаки;

1.2. Презентація знань про кібератаки як сукупність функцій векторів;

1.3. Позначення отриманих векторів кібератак з метою формування класів, де кожен клас відповідає певній кібератаці,  $i$ , в свою чергу, певний сценарій безпеки, який слід застосувати для пом'якшення кібератак.

2. Етап моніторингу складається з наступних етапів:

2.1. Збір вхідних та вихідних мережних даних та збір інформації про діяльність хостів мережі та звіти про антивіруси хостів;

2.2. Побудова функціональних векторів на основі інформації, отриманої від мережі та хостів.

3. Етап виявлення включає в себе класифікацію множини одержаних векторів ознак на основі застосування методу опорних векторів (SVM) з метою їх віднесення до одного з класів та вибору правильного сценарію безпеки.

4. Етап відновлення включає реалізацію сценарію безпеки інфраструктури корпоративної мережі.

Позначимо набір мережних компонентів, які зазнають атак, як  $V = \{b_1, b_2, b_3\}$ , де  $b_1$  – хост мережі,  $b_2$  – мережний пристрій,  $b_3$  – сервер у мережі,  $b_i \in V$ . Потім позначимо набір кібератак, як  $A = \{a_j\}_{j=1}^{N_A}$ .

Позначимо набір сценаріїв безпеки як  $S = \{s_m\}_{m=1}^{N_S}$ , де  $N_S$  – кількість сценаріїв безпеки, які слід застосувати залежно від типу атаки. Таким чином, функція вибору сценарію безпеки для відновлення мережі за наявності визначеного типу атаки  $f$  може бути представлена як  $f: b_i \times a_j \rightarrow s_m$ . Усі ознаки є основою набору векторів  $X = \{x_k\}_{k=1}^N$ , де кожен з вектора ознак  $x_k$  описує кібератаку,  $N$  – кількість векторів ознак. Нехай  $k$  позначає кількість попередньо визначених класів векторів ознак. Кожен клас відповідає визначеним кібератакам ( $i$  сценарій безпеки, який слід застосувати), а один клас відповідає відсутності атаки. Для здійснення класифікації множини одержаних векторів ознак в роботі застосовано метод опорних векторів (SVM) [15]. Для обчислення роздільної гіперплощини без явного проведення відображення в просторі функцій можна використовувати різні функції ядра [16]. Для проведення класифікації використовуються методи на основі «один проти всіх» та «один проти одного» SVM [17]. В роботі для здійснення класифікації векторів ознак було використано ядра: лінійне (1), поліноміальне (2), гауссове (3), експоненційне (4) та B-spline (5):

$$K(x, x_i) = x^T x_i + c, c \in R \quad (1)$$



$$K(x, x_i) = (\alpha x^T x_i + c)^p, \alpha \in R, c \in R, p \in N \quad (2)$$

$$K(x, x_i) = \frac{1}{1 + 2\sigma^2 \|x - x_i\|^2}, \sigma > 0 \quad (3)$$

$$K(x, x_i) = \frac{1}{1 + 2\sigma^2 \|x - x_i\|^2} \quad (4)$$

$$K(x, x_i) = B_{2p+1}(x - x_i), \text{ where } p \in N \text{ with } B_{i+1} = B_i \otimes B_0 \quad (5)$$

З метою виявлення кібератак мережного типу проводиться моніторинг активності мережі, що може свідчити про появу кібератаки. З метою виявлення кібератаки типу хазяїна збирається інформація про мережеву діяльність хостів та звіти про антивіруси хостів. Зібрану інформацію надсилають класифікатору для подальшого аналізу. Далі, зібрані на попередньому етапі, потім аналізуються. Результатом аналізу є висновок про наявність або відсутність атаки та відповідний сценарій безпеки для відновлення мережі. В якості засобу вибору сценарію безпеки використовується SVM. На етапі виявлення об'єктами класифікації є вектори ознак  $x_k$ , отримані при аналізі корисного вхідного та вихідного трафіку. Результатом класифікації віднесення об'єкту класифікації до певного, який свідчить про необхідність застосування відповідного сценарію безпеки.

Виходячи з вибору, зробленого на попередньому етапі, слід застосувати сценарій безпеки. Кожен сценарій містить перелік дій з відновлення мережі.

### Експериментальні дослідження ефективності роботи методу

Для того, щоб дослідити ефективність роботи методу, було використано різні функції ядра SVM. Приклад результатів класифікації за допомогою експоненційного ядра представлений на рис. 1. Процес класифікації поділяється на кілька ітерацій. У першій ітерації об'єкти класифікації поділяються на два класи: шкідливий і нешкідливий. Потім класифікатори поділяють об'єкти на інші два класи, наприклад: шкідливий трафік та spoofing трафік. Наступні ітерації розділяють шкідливий трафік та інші класи атак тощо, поки всі вони повністю не розділяться. Експериментальні результати різних класифікаторів SVM з'ясували, що лінійні та поліноміальні ядра показали найгірші результати. Вони характеризувалися більш тривалими термінами виконання та вищими показниками загальної точності класифікації. Нелінійні класи класифікували кращі результати, де B-spline давав кращі результати, ніж інші. Таким чином, для експериментальних зразків оцінювання найефективнішим класифікатором, що використовує SVM, був B-spline, оскільки він забезпечував найбільшу відстань між гіперплощинами, найкоротший час оцінки та найкращу точність класифікації; таким чином, він був використаний як основна функція ядра в методі для прийняття рішення щодо застосування сценарію безпеки в залежності від класифікованої атаки.

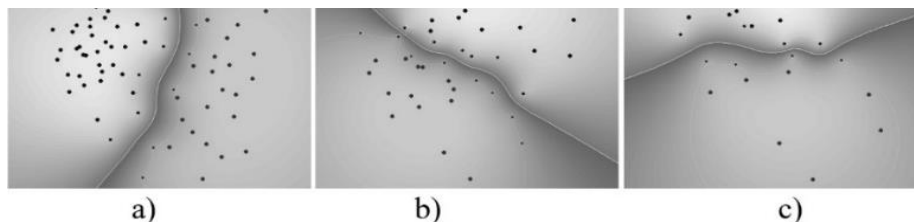


Рис. 1. Результати класифікації SVM за допомогою різних експоненційного ядра:  
а) шкідливий трафік / не шкідливий трафік; б) шкідливий трафік / spoofing трафік; в) шкідливий трафік / smurf трафік

Для визначення достовірності запропонованим методом було проведено ряд експериментів. В експериментах було використано локальну мережу з 50 хостів (кожен з операційною системою Microsoft Windows), один виділений сервер (операційна система Linux OpenSusE з nginx HTTP-сервером). Експерименти тривали 24 години. Мережевий трафік захоплювався за допомогою утиліти tcpdump. Під час експериментів було здійснено 150 атак різних типів на хости, сервер та маршрутизатори. Метою було визначити, чи зможе корпоративна мережа функціонувати в ситуації атак (наприклад, якщо сервер, хости або мережний маршрутизатор зможуть надавати послуги з певними допустими характеристиками у визначений час). Як приклад, в даному підрозділі описано детальні результати експериментів із повільними DDoS, smurf та masflooding атаками [18–20]. Рис. 2 демонструє рівень мережного трафіку та часу відповіді сервера перед атакою, під час атаки та після застосування сценарію безпеки. Таким чином, видно, що під час атаки рівень трафіку залишається майже незмінним (рис. 2, а), але час реакції сервера збільшувався, що спричиняло недоступність послуги (рис. 2, б).

Застосування сценарію безпеки, отриманого за допомогою методу забезпечення живучості (резильєнтності) комп'ютерних систем в умовах кіберзагроз на основі самоадаптивності виявило незначно помітні зміни рівні трафіку, в той час як час відповіді сервера зменшився і сервер зміг надавати послуги. Під час smurf атаки значно сильно збільшувались рівень трафіку та час відповіді сервера. Застосування сценарію безпеки виявила значні зменшення рівня трафіку (рис. 2, а), в той час як час відповіді сервера зменшився до нормального рівня і сервер також міг функціонувати (рис. 2, б).

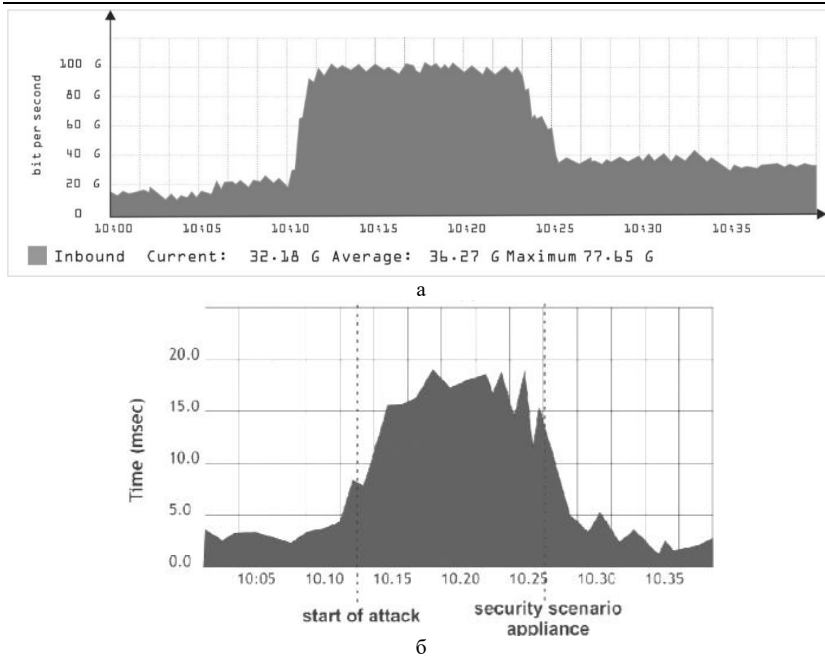


Рис. 2. Рівень трафіку (а) та часи відповіді сервера (б) до, під час і після smurf-атаки

### Висновки

У роботі представлено метод забезпечення живучості комп'ютерних систем в умовах кіберзагроз на основі самоадаптивності, який, дозволяє здійснювати адаптивне реконфігурування компонентів КС шляхом сценаріїв безпеки та забезпечує здатність системи до стійкого її функціонування в ситуації наявності кібератак. Живучість забезпечується адаптивним відновленням мережі. Ця реконструкція проводиться на основі сценарію безпеки, прийнятого на основі аналізу раніше зібраних ознак, притаманних кібератакам. Ознаки атак формуються як вектори ознак і підлягають класифікації. Результатом класифікації є віднесення об'єкту класифікації до відповідного класу, який відповідає певній кібератаці. Метою методу є вибір необхідного сценарію захисту мережевої реконструкції відповідно до кібератак. Експериментальні дослідження свідчать про високу достовірність запропонованого методу, зокрема достовірність виявлення кібератак до 99 % та здатності забезпечення живучості КС в ситуації кібератак з рівнем до 70 %.

### Література

1. McAfee Mobile Threat Report Q1, 2020. URL: [https://www.mcafee.com/content/dam/cons\\_umer/en-us/docs/2020-Mobile-Threat-Report.pdf](https://www.mcafee.com/content/dam/cons_umer/en-us/docs/2020-Mobile-Threat-Report.pdf). – 9.12.2019р. (date of access: 10.07.2020).
2. 2020 State of Malware Report. URL: [https://resources.malwarebytes.com/files/2020/02/2020\\_State-of-Malware-Report.pdf](https://resources.malwarebytes.com/files/2020/02/2020_State-of-Malware-Report.pdf) (date of access: 10.07.2020).
3. Jun C., Chi C. Design of complex event-processing IDS in internet of things. In Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA) (January 2014). 2014. P. 226–229.
4. Lee P. A., Clark L., Bushnell R., Poovendran A passivity framework for modeling and mitigating wormhole attacks on networked control systems, IEEE Trans. Autom. Control. 2014. Vol. 59. No. 12. Pp. 3224–3237.
5. Zhang J., Blum R.S., Lu X., Conus D. Asymptotically optimum distributed estimation in the presence of attacks, IEEE Trans. Signal Process. 2015. Vol. 63. No. 5. P. 1086–1101.
6. Pongle P., Chavan G. Real time intrusion and wormhole attack detection in internet of things. International Journal of Computers and Applications. 2015. Vol. 121. No. 9.
7. Cervantes C., Poplade D., Nogueira M., Santos A. Detection of sinkhole attacks for supporting secure routing on 6lowpan for internet of things. In IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM)(May, 2015). 2015. P. 606–611.
8. An R., Feng H., Liu Q., Li L. Three elliptic curve cryptography-based RFID authentication protocols for Internet of Things. In International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications. Springer International Publishing (November 2016). 2016. P. 857–878.
9. Sun H., Wang X., Buyya R., Su J. CloudEyes: Cloud - based malware detection with reversible sketch for resource - constrained internet of things (IoT) devices. Software, Practice & Experience. 2017. Vol. 47. No. 3. P. 421–441. doi:10.1002/spe.2420
10. Arrington B., Barnett L., Rufus R., Esterline A. Behavioral Modeling Intrusion Detection System (BMIDS) Using Internet of Things (IoT) Behavior-Based Anomaly Detection via Immunity-Inspired Algorithms. In 25th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN) (August 2016). 2016. P. 1–6.
11. Hodo E., Bellekens X., Hamilton A., Dubouilh P.L., Iorkyase E., Tachtatzis C., Atkinson R. Threat analysis of iot networks using artificial neural network intrusion detection system. In International Symposium on

Networks, Computers and Communications (ISNCC)(May 2016). 2016. P. 1–6.

12. Le A., Loo J., Chai K. K., Aiash M.A. Specification-Based IDS for Detecting Attacks on RPL- Based Network Topology. *Information*. 2016. Vol. 7. No. 2. p. 25. doi:10.3390/info7020025

13. Lysenko S., Bobrovnikova K., Savenko O., Kryshchuk A. BotGRABBER: SVM-Based Self-Adaptive System for the Network Resilience Against the Botnets' Cyberattacks. *Communications in Computer and Information Science*, ISSN: 1865-0929. 2019. P. 127–143.

14. Lysenko S., Savenko O., Bobrovnikova K., Kryshchuk A. Self-adaptive system for the corporate area network resilience in the presence of botnet cyberattacks. *Communications in Computer and Information Science*, ISSN: 1865-0929. 2018. P. 385–401.

15. Weston J., Mukherjee S., Chapelle O., Pontil M., Poggio T. Vapnik Feature selection for SVMs. In: *Advances in neural information processing systems*. 2001. P. 668–674.

16. Hofmann T., Scholkopf B., Smola A. J. Kernel methods in machine learning. *The annals of statistics*. 2008. P. 1171–1220.

17. Foody G.M., Mathur A. A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2004. Vol. 42. No. 6. P. 1335–1343.

18. Sergii Lysenko, Pomorova Oksana, Savenko Oleg, Kryshchuk Andrii, Bobrovnikova Kira. DNS-based Anti-evasion Technique for Botnets Detection. *The IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings (Warsaw, Poland, September 24-26, 2015)*. Warsaw, 2015. Vol. 1. P. 453–458.

19. Лисенко С.М. Методи виявлення бот-мереж в комп'ютерних системах / С.М. Лисенко, К.Ю. Бобровнікова, В.С. Харченко // *Сучасні інформаційні системи*. – 2019. – Т. 3. № 4. – С. 87–95.

20. Canadian Institute for Cybersecurity. Botnet dataset. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/botnet.html> (date of access: 10.07.2020).

#### References

1. McAfee Mobile Threat Report Q1, 2020. URL: [https://www.mcafee.com/content/dam/cons\\_umer/en-us/docs/2020-Mobile-Threat-Report.pdf](https://www.mcafee.com/content/dam/cons_umer/en-us/docs/2020-Mobile-Threat-Report.pdf). – 9.12.2019p. (date of access: 10.07.2020).

2. 2020 State of Malware Report. URL: [https://resources.malwarebytes.com/files/2020/02/2020\\_State-of-Malware-Report.pdf](https://resources.malwarebytes.com/files/2020/02/2020_State-of-Malware-Report.pdf) (date of access: 10.07.2020).

3. Jun C., Chi C. Design of complex event-processing IDS in internet of things. In *Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA) (January 2014)*. 2014. P. 226–229.

4. Lee P. A., Clark L., Bushnell R., Poovendran A passivity framework for modeling and mitigating wormhole attacks on networked control systems. *IEEE Trans. Autom. Control*. 2014. Vol. 59. No. 12. Pp. 3224–3237.

5. Zhang J., Blum R.S., Lu X., Conus D. Asymptotically optimum distributed estimation in the presence of attacks, *IEEE Trans. Signal Process.* 2015. Vol. 63. No. 5. P. 1086–1101.

6. Pongle P., Chavan G. Real time intrusion and wormhole attack detection in internet of things. *International Journal of Computers and Applications*. 2015. Vol. 121. No. 9.

7. Cervantes C., Poplade D., Nogueira M., Santos A. Detection of sinkhole attacks for supporting secure routing on 6lowpan for internet of things. In *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM)(May, 2015)*. 2015. P. 606–611.

8. An R., Feng H., Liu Q., Li L. Three elliptic curve cryptography-based RFID authentication protocols for Internet of Things. In *International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications*. Springer International Publishing (November 2016). 2016. P. 857–878.

9. Sun H., Wang X., Buyya R., Su J. CloudEyes: Cloud - based malware detection with reversible sketch for resource - constrained internet of things (IoT) devices. *Software, Practice & Experience*. 2017. Vol. 47. No. 3. P. 421–441. doi:10.1002/spe.2420

10. Arrington B., Barnett L., Rufus R., Esterline A. Behavioral Modeling Intrusion Detection System (BMIDS) Using Internet of Things (IoT) Behavior-Based Anomaly Detection via Immunity-Inspired Algorithms. In *25th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN) (August 2016)*. 2016. P. 1–6.

11. Hodo E., Bellekens X., Hamilton A., Dubouilh P.L., Iorkyase E., Tachtatzis C., Atkinson R. Threat analysis of iot networks using artificial neural network intrusion detection system. In *International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)(May 2016)*. 2016. P. 1–6.

12. Le A., Loo J., Chai K. K., Aiash M.A. Specification-Based IDS for Detecting Attacks on RPL- Based Network Topology. *Information*. 2016. Vol. 7. No. 2. p. 25. doi:10.3390/info7020025

13. Lysenko S., Bobrovnikova K., Savenko O., Kryshchuk A. BotGRABBER: SVM-Based Self-Adaptive System for the Network Resilience Against the Botnets' Cyberattacks. *Communications in Computer and Information Science*, ISSN: 1865-0929. 2019. P. 127–143.

14. Lysenko S., Savenko O., Bobrovnikova K., Kryshchuk A. Self-adaptive system for the corporate area network resilience in the presence of botnet cyberattacks. *Communications in Computer and Information Science*, ISSN: 1865-0929. 2018. P. 385–401.

15. Weston J., Mukherjee S., Chapelle O., Pontil M., Poggio T. Vapnik Feature selection for SVMs. In: *Advances in neural information processing systems*. 2001. P. 668–674.

16. Hofmann T., Scholkopf B., Smola A. J. Kernel methods in machine learning. *The annals of statistics*. 2008. P. 1171–1220.

17. Foody G.M., Mathur A. A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2004. Vol. 42. No. 6. P. 1335–1343.

18. Sergii Lysenko, Pomorova Oksana, Savenko Oleg, Kryshchuk Andrii, Bobrovnikova Kira. DNS-based Anti-evasion Technique for Botnets Detection. *The IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings (Warsaw, Poland, September 24-26, 2015)*. Warsaw, 2015. Vol. 1. P. 453–458.

19. Lysenko S.M. Metody vyivlennia bot-meresz v kompiuternykh systemakh / S.M. Lysenko, K.Iu. Bobrovnikova, V.S. Kharchenko // *Suchasni informatsiini systemy*. – 2019. – Т. 3. № 4. – С. 87–95.

20. Canadian Institute for Cybersecurity. Botnet dataset. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/botnet.html> (date of access: 10.07.2020).

Ю.Б. МИХАЙЛЯК, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК  
Хмельницький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗУМНОГО СВІТЛОФОРА ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ТРАФІКУ

Реалізована інформаційна технологія регуляції дорожнього трафіку. Програмний застосунок забезпечує керування світлофором на перехресті, базуючись на завантаженості доріг. Завантаженість доріг визначається кількістю транспортних засобів на ділянці. Додатковими функціями є логування стану світлофора і зберігання відео в файлової системі комп'ютера. Реалізовано інтеграцію зі сторонніми бібліотеками.

Keywords: traffic, traffic lights, vehicles, traffic jams, optimization, vehicles detection.

YU.B. MYKHAILIAK, O.A. PASICHNYK, T.K. SKRYPNYK  
Khmelnyskyi National University

### PLANNING INFORMATION SYSTEM FOR THE BEST WAY TO DELIVER CARGO WITH THE HELP OF THE TRAVELER'S TASK

Today, cars are as much a part of our lives as a luxury. It is difficult to understand that the first cars were perceived as a manifestation of evil spirits. A little later, cars were available only to the rich. Now cars cover all parts of our society. The main reason for the popularity of cars was the ability to be mobile in a given situation. Undoubtedly, your own car provides a lot of time. Cars are also used in businesses of various sizes, the main field of use – transportation of goods, transportation of people and others. The development of road surface is developing in parallel with consumers. In the civilized world, people began to use means to prevent traffic accidents, so there were traffic rules, road markings, lying police and road signs. Probably, one of the main attributes of traffic regulation is a traffic light - a device that gives a certain lane permission to move, while blocking the movement perpendicular in order to avoid a traffic accident. The traffic light mechanism is quite simple, it does its job well. It is a clear fact that with the growth of cars, the load on the roads increases. Often the result of heavy traffic is congestion, which causes a significant difference between the expected time and the actual time of getting from point A to point B. Significant congestion is observed in large, densely populated cities. The peak time for such cities is 9:00 and 18:00, at which time residents go or return from work. You can often see that some minibuses are more popular than others. It is assumed that the load on one axle is much greater than the other, usually in such situations, the waiting time for the "green light" for the unloaded axle is inefficient. Since, in our period - time is an exhausted resource, we need to optimize the work of small things that could save on it. In this case, the automated traffic manager is useful because the system can analyze the input data and based on them to build the optimal state of the traffic light.

Keywords: traffic, traffic lights, vehicles, traffic jams, optimization, vehicles detection.

#### Аналіз предметної області

Світлофорний об'єкт – територія дорожнього сполучення, на котрому послідовність пересування конфліктуючих автомобільних потоків або автомобільних і пішохідних потоків врегульовується світлофорною сигналізацією.

Основні поняття авто-світлофора:

- такт – період виконання конкретної комбінації індикаторів;
- головний такт – хронологічний період, під час котрого пересування транспортних засобів (інколи й пішохідних потоків) є дозволим;
- проміжний такт – хронологічний період, під час котрого відбувається підготовка до перемикання дозволу на пересування наступній групі автомобілів (інколи й пішохідних потоків);
- фаза регулювання – сукупність головного такту й проміжного такту;
- регульовальний цикл – послідовність фаз яка повторюється з конкретною періодичністю;
- режим світлофорного регулювання – кількість часу вказаних фаз, тактів і тривалість регульовального циклу;
- схема роз'їзду – візуальне хронологічне представлення конфліктних автомобільних потоків;
- циклограма регулювання світлофора – візуальна схема послідовності й тривалості горіння індикаторів світлофорів на всіх можливих маршрутах, розташованих на вулиці.

Незважаючи на простоту й надійність механізму світлофорного регулювання, можна побачити значний недолік, а саме неможливість регулювання трафіку на основі вхідних зовнішніх даних. Під зовнішніми даними мається на увазі такі елементи: завантаженість доріг та тип транспорту.

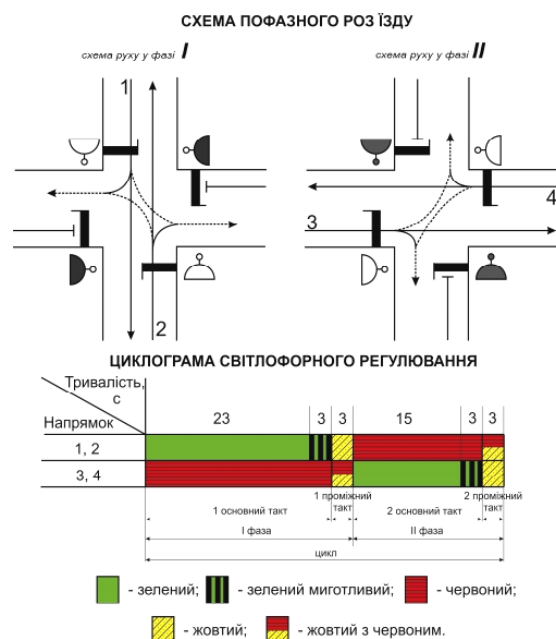


Рис. 1. Схеми основних термінів режиму регулювання світлофору [2]

## Аналіз існуючого програмного забезпечення предметної області

На даний час глобальних розробок по системі розумної регуляції руху в Україні не ведеться. Існує кілька ідей на ресурсах для стартапів, які чекають інвестицій і пропонують розумну регуляцію руху на основі завантаженості доріг потоком автомобілів. Також є опис, що розвиваючи цю ідею, можна додати розумну детекцію правопорушень і виписку штрафів. Проте, за межами українського інтернет-простору можна знайти кілька схожих проектів, які розташовані на відкритому програмному ресурсі – *github.com*. Реалізації цих проектів мають свою плюси чи мінуси, як і будь-яке ПО. Перший з таких – “Smart-traffic-light-2” [1].



Рис. 2. Аналог системи розумного світлофора [3]

Проект був розроблений в рамках Бельгійського університету.

Плюси цього проекту:

1. Система інтегрована на платформу Raspberry Pi 3 з підключеною USB-камерою.
2. Розпізнавання меж дороги, для точнішого обрахунку вхідних даних.
3. Код реалізований на мові Python, що дає легку підтримку і гнучкість в доданні нових функціональних речей.
4. Можливість надання пріоритетності для спец. засобів (швидка допомога, поліція тощо.)

Мінуси проекту:

1. Визначення дорожнього транспорту ведеться з камери, яка може розташовуватися лише зверху.
2. Неможливість використовувати по одній камері на одну сторону.
3. Визначення автомобілів ведеться

за технологією HOG (Histogram of Oriented Gradients), що може призвести до неочікуваної поведінки під час негоди тощо.

Ще одним прикладом є схожий проект, який реалізований на C++ “smart-traffic-signals”[4]. Реалізації проекту є доволі низькорівневою, що робить його надзвичайно гнучким.

Переваги проекту:

1. C++ надає велику гнучкість редагування проекту.
2. C++ надає великий приріст в швидкості дії.
3. Інтеграція з RaspberryPi 2.

Недоліки:

1. C++ мова з низьким рівнем абстракції, тому навіть для реалізації банальних речей потрібно більше часу, ніж до прикладу на Python.
2. Визначення автомобілів ведеться за технологією Haar Cascade, що може призвести до неочікуваної поведінки під час негоди тощо.

Поточний проект позбавлений деяких вад, які є описані в аналогах вище, а саме: використовується проста платформа для підтримки коду, технологія розпізнавання автомобілів ведеться за допомогою сторонньої бібліотеки, що зменшує кодову базу. Конструктивно проект простий тим, що потребує монтування чотирьох камер на опори світлофорів (в першому аналізі спостереження дозволяються лише зверху, що в кілька разів збільшує кошторис реалізації проекту).

### Описання бізнес-логіки

Якщо розглядати роботу звичайного світлофора, то всюди можна побачити систему, яка з періодичністю перемикає індикатори для проходження руху на тій чи іншій ділянці руху. Трапляються ситуації, коли працівникам потрібно відновити історію дії (наприклад ДТП), яка відбулася якийсь час назад. Єдиним варіантом цього досягнути є отримання даних з сусідніх камер будівель, що уповільнює аналіз в кілька разів, так як не на всіх будівлях є камери, також потрібно всі ці дані співставляти.

Інша дія, якій потрібно автоматизація – збір інформації про поломку світлофора. Якщо світлофор вийшов з ладу, маючи інформацію про минулі дії і помилки в системі, тех. працівнику не складе зусиль поладити проблему.

Для того, щоб автоматизувати роботу збору інформації, дані потрібно організувати у файлової системі. На даний час потреби в створенні бази даних немає, так як системи не є централізованою, на даний час. В подальшому, є сенс перевести зберігання інформації в БД.

На даному етапі аплікація пише два файли під час виконання, перший файл – це логування, в логуванні можна переглянути стан системи в конкретний відрізок часу, також, якщо виникнуть якісь помилки, вони миттєво запишуться в *app.log* файл, який саме й слугує для зберігання інформації. Другим

файлом є відео-файл, який записується з відеопотоку, єдина відмінність відеопотоку, від результуючого файлу є те, що на фінальному відео буде накладатися система визначення автомобілів в потоці.



Рис. 3. Відео-файл, який записується з відеопотоку

```

controller.py  detector.py  app.log  traffic_lights.py
1  2019-05-12 21:28:43,858:INFO:
2  Green direction: x;
3  Needed time: 90;
4  Count of transport: 18;
5  Actual time: 50
6
7  2019-05-12 21:28:43,859:INFO:Directions state: {'x': 18, 'y': 8}
8  2019-05-12 21:28:43,859:INFO:
9  Visualization of crossroad state
10
11  (0)
12  |
13  x
14  |
15  (3)---o---o---o---o---o---(1)
16  |
17  x
18  |
19  (2)
20
21
22  2019-05-17 23:35:12,208:INFO:
23  Green direction: x;
24  Needed time: 90;
25  Count of transport: 18;
26  Actual time: 50
27
28  2019-05-17 23:35:12,237:INFO:Directions state: {'x': 18, 'y': 8}
29  2019-05-17 23:35:12,237:INFO:
30  Visualization of crossroad state
31
32  (0)
33  |
34  x
35  |
36  (3)---o---o---o---o---o---(1)
37  |
38  x
39  |
40  (2)
41

```

Рис. 4. Логування для системи регулювання

сторонніх предметів відключена. Як тільки автомобілі були знайдені, система спробує просумувати автомобілі відповідно до осей: x і y; пізніше визначається сторона, яка вважається більш завантаженою, прохід дозволяється завантаженій стороні, при тому з конкретним часом, який залежить від кількості автомобілів, цей час не має перевищувати максимальний час проходження. Зелене світло для одного потоку може повторитися лише 3 рази.

Створення нових інформаційних технологій має велике значення для розвитку суспільства. Вони активно перетворюють інші технології матеріального і нематеріального виробництва, в кінцевому підсумку формуючи новий стиль роботи, спосіб життя в цілому. Суть інформаційних технологій становлять методи і засоби формування та підтримки інформаційних потоків у системах управління об'єктами, у тому числі регулювання дорожнього трафіку.

Інша дія, якій потрібно автоматизація – збір інформації про поломку світлофора. Якщо світлофор вийшов з ладу, маючи інформацію про минулі дії і помилки в системі, тех. працівнику не складе зусиль полагодити проблему.

Для поточної роботи, як і у всіх програмах, є споживач (клієнт). В цьому випадку користувачем програми є державна дорожня служба / приватне підприємство. Схема доступних функцій для гостя (клієнта) зображено на рис. 5.

Загальну схему регулювального алгоритму системи розумного світлофора представлено на рис. 6.

Алгоритм визначення об'єктів на фреймі буде визначати засоби транспорту, конкретно реалізація реагує лише на автомобілі різних габаритів і мотоцикли, можливість визначення

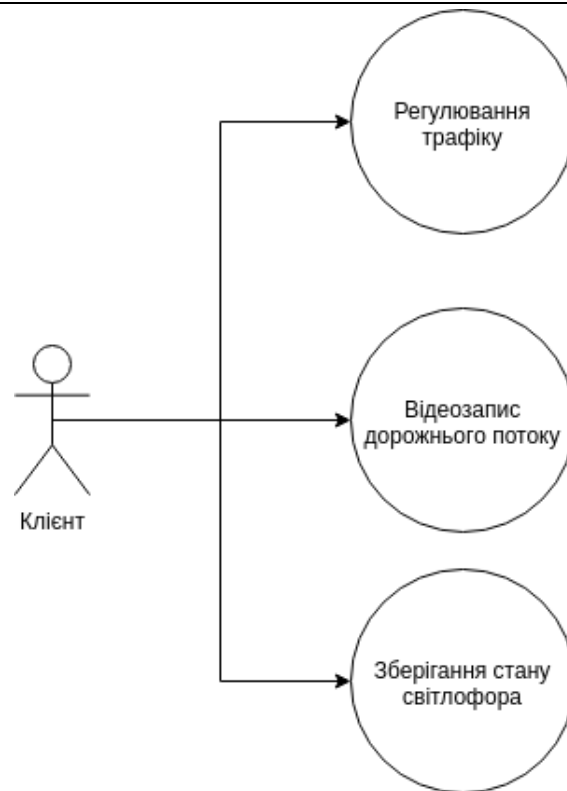


Рис. 5. Можливості користувача



Сторона яка є більше завантаженою  
була вільна для проходження більше ніж 3 рази?

Рис. 6. Спрощена структура алгоритму системи регулювання дорожнього трафіку

Також існує алгоритм для визначення часу потрібного на проходження ділянки з світлофором він описується наступним чином: системою детекції YOLO визначається число автомобілів, які перебувають на світлофорній ділянці, в класі контролера є константа, яка відповідає за проходження автомобілів, коефіцієнт проходження множиться на кількість авто, в кінцевому результаті отримуємо час на проходження. Варто зауважити, що існує інша константа, яка вказує на максимальний час проходження, вона запобігає протяжній в часі відкритості завантаженої осі. Схема алгоритму наведена нижче



Рис. 7. Алгоритм обрахунку часу на проходження

Система також зберігає стан світлофора в конкретну ділянку часу, записуючи дані в файлову систему.

Для зберігання файлів в файловій системі не використовується жодна з обгорт, оскільки операції з файлами є простими – створення, оновлення, видалення, читання. До застосування був обраний стандартний пакет “os”.

### Можливість інтеграції з іншими системами

Незначним, але потужним додатком до системи є можливість підключення модулів, які можуть слухати події, які продує контролер.

На даний момент часу таким подій не так багато, але вони можуть їхній список може збільшуватись по мірі росту самої програми, кожен слухач отримує всю інформацію про стан контролера, а остання подія й додаткову інформацію, а саме:

- вісь, яка планується бути активною для проїзду;
- обрахований час для проїзду;
- кількість транспортних засобів;
- фактичний час на проходження з урахуванням ліміту на максимальний час;
- події, які підтримуються;
- світлофор переведений в стандартний режим роботи;
- трафік з усіх сторін є однаковим;
- світлофори змінили свій стан.

На вказані події можна додати свій власний “слухач”, який буде обробляти їх. На даному етапі існує простий плагін логування даних (тобто виводу інформації на в термінал).

За основу був взятий поведінковий патерн “Спостерігач”.

Спостерігач – це поведінковий патерн проектування, який створює механізм підписки, що дає змогу одним об’єктам стежити й реагувати на події, які відбуваються в інших об’єктах.

При реалізації шаблону «спостерігач» зазвичай використовуються такі класи:

*Subject* – інтерфейс, що визначає методи для додавання, видалення та оповіщення спостерігачів.

*Observer* – інтерфейс, за допомогою якого спостережуваний об’єкт сповіщає спостерігачів.

*ConcreteSubject* – конкретний клас, який реалізує інтерфейс *Subject*.

*ConcreteObserver* – конкретний клас, який реалізує інтерфейс *Observer*.

При зміні спостережуваного об’єкту, оповіщення спостерігачів може бути реалізоване за такими сценаріями: спостережуваний об’єкт надсилає кожному із зареєстрованих спостерігачів всю потенційно релевантну інформацію (примусове розповсюдження).

Спостережуваний об’єкт надсилає кожному із зареєстрованих спостерігачів лише повідомлення про те, що інформація була змінена, а кожен із спостерігачів, за необхідності, самостійно здійснює запит необхідної інформації у спостережуваного об’єкту (розповсюдження за запитом).

### Висновки

Реалізовано інформаційну систему розумного світлофора для регулювання дорожнього трафіку з використанням мультिकанального способу формування даних про обстановку на перехресті. Програмний



застосунок забезпечує регулювання дорожнього трафіку за алгоритмом, який дозволяє розвантажувати напрямки руху на перехресті. Розроблено відповідну структуру додатку, що дозволяє зберігати всю потрібну інформацію та автоматизувати необхідні процеси.

### Література

1. Smart-light-light-2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://github.com/Twitwi96/Smart-traffic-light-2>.
2. Схеми основних термінів режиму регулювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/28329/4/%D0%A2%D0%A1%D0%9E%D0%94%D0%94\\_%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_3.pdf](http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/28329/4/%D0%A2%D0%A1%D0%9E%D0%94%D0%94_%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_3.pdf).
3. Аналог системи розумного світлофора [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://github.com/Twitwi96/Smart-traffic-light-2>.
4. Другий аналог системи розумного світлофора [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://github.com/JayLohokare/smart-traffic-signals>.
5. Грицунов О.В. Інформаційні системи та технології : навч. посіб. для студентів за напрямом підготовки «Транспортні технології» / О. В. Грицунов ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ.
6. Павлиш В.А. Основи інформаційних технологій і систем : навчальний посібник / Павлиш В.А., Гліненко Л.К. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 500 с.
7. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах : навчальний посібник / [В.А. Кирилюк, М.Ф. Пічугін, О.А. Машков та ін.]. – Житомир : ЖВІРЕ, 2007. – 176 с.
8. Reinelt, Gerhard (1992). Fast heuristics for large geometric traveling salesman problems. *ORSA Journal on computing*, 4:206-217.
9. Годун В.М. Інформаційні системи і технології в статистиці : навч. посіб. / В.М. Годун, Н.С. Орленко, М. А. Сендзюк ; за ред. В.Ф. Ситника. – К. : КНЕУ, 2003. – 267 с.
10. Hemming R. V. Theory of coding and theory of information. М.: Radio & communication, 1983. 176 p.
11. Patrick E. Fundamentals of the theory of pattern recognition. Moscow: Sov. radio, 1980.
12. Lainiotis D.G. A Class of Upper Bounds on Probability of Error for Multi-Hypotheses Pattern Recognition. *IEEE Transaction on Information Theory*, IT-15, № 5, 1969.

### References

1. Smart-light-light-2 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://github.com/Twitwi96/Smart-traffic-light-2>.
2. Skhemy osnovnykh terminiv rezhymu rehuliuвання [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/28329/4/%D0%A2%D0%A1%D0%9E%D0%94%D0%94\\_%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_3.pdf](http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/28329/4/%D0%A2%D0%A1%D0%9E%D0%94%D0%94_%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_3.pdf).
3. Analoh systemy rozumnoho svitlofora [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://github.com/Twitwi96/Smart-traffic-light-2>.
4. Druhyi analoh systemy rozumnoho svitlofora [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://github.com/JayLohokare/smart-traffic-signals>.
5. Hrytsunov O.V. Informatsiini systemy ta tekhnologii : navch. posib. dlia studentiv za napriamom pidhotovky «Transportni tekhnologii» / O. V. Hrytsunov ; Khark. nats. akad. misk. hosp-va. – Kh. : KhNAMH.
6. Pavlysh V.A. Osnovy informatsiinykh tekhnologii i system : navchalnyi posibnyk / Pavlysh V.A., Hlinenko L.K. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2013. – 500 s.
7. Obrobka heofizychnykh syhnaliv u suchasnykh avtomatyzovanykh kompleksakh : navchalnyi posibnyk / [V.A. Kyryliuk, M.F. Pichuhin, O.A. Mashkov ta in.]. – Zhytomyr : ZhVIRE, 2007. – 176 s.
8. Reinelt, Gerhard (1992). Fast heuristics for large geometric traveling salesman problems. *ORSA Journal on computing*, 4:206-217.
9. Hodun V.M. Informatsiini systemy i tekhnologii v statystytsi : navch. posib. / V.M. Hodun, N.S. Orlenko, M. A. Sendziuk ; za red. V.F. Sytnyka. – K. : KNEU, 2003. – 267 s.
10. Hemming R. V. Theory of coding and theory of information. М.: Radio & communication, 1983. 176 p.
11. Patrick E. Fundamentals of the theory of pattern recognition. Moscow: Sov. radio, 1980.
12. Lainiotis D.G. A Class of Upper Bounds on Probability of Error for Multi-Hypotheses Pattern Recognition. *IEEE Transaction on Information Theory*, IT-15, № 5, 1969.

Рецензія/Peer review : 14.10.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.

## ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФЕСІЇ НА ОСНОВІ ТЕСТУ АМТХАУЕРА

*Розроблено програму, яка є комп'ютерним додатком – тестом. Розглянуто середовища програмування та проведено їх порівняння за найвпливовішими факторами. Для реалізації тесту в навчальних цілях обрано мову програмування Java. У програмі реалізовано виведення питань у вигляді тексту та зображень, а також можливість введення відповіді у текстове поле і вибір варіанту відповіді у вигляді радіобаттону. Для оптимізації навчального процесу була реалізована передача введених даних з усіх комп'ютерів в один файл задля перевірки відповідей на правильність і аналіз отриманих даних спеціалізованим фахівцем.*

*Ключові слова: професія,*

N.M. ZASHCHEPKINA, K.O. LUTSENKO

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

### SOFTWARE COMPLEX FOR DETERMINING A PROFESSION ON THE BASIS OF THE AMTHAUER TEST

*A program has been developed that is a computer application - a test. Programming environments are considered and their comparison on the most influential factors is carried out. The Java programming language was chosen to implement the test for educational purposes. The program implements the output of questions in the form of text and images, as well as the ability to enter the answer in the text box and select the answer in the form of a radio button. To optimize the learning process, the input data from all computers was transferred to one file in order to check the answers for correctness and analysis of the received data by a specialized specialist.*

*Ключові слова: професія,*

### Вступ

Актуальність теми обумовлена тим, що дослідження аналітичного центру НУЦД показало, що лише близько третини підлітків (31 %) у віці від 14 до 17 років твердо визначилися з вибором майбутньої професії. Тест Амтхауера – тест на визначення профорієнтації, має високі оцінки достовірності результатів, тому створення програмного комплексу на основі цього тесту є доцільним. Наразі існують тільки друковані та онлайн-версії тесту Амтхауера, що не дає змогу впровадити даний тест у навчальний процес. Програмування даного тесту та подальше налаштування збереження отриманих даних від групи студентів в один файл є актуальним, оскільки, окрім появи комп'ютерної версії тесту, викладач або куратор групи студентів отримує файл з відповідями протестованих студентів, що пришвидшить аналіз тесту та спростить його проведення у великій групі людей.

### Постановка задачі

Для досягнення мети, були поставлені наступні задачі:

- розглянути особливості існуючих програмних та веб-інтерфейсних засобів для проходження тесту Амтхауера.
- обрати середовище програмування.
- створити програму для проходження тесту Амтхауера у обраному середовищі з передачею даних по локальній мережі в один файл.

### Формулювання цілей

Розробка комп'ютерного додатку для проведення тесту Амтхауера серед підлітків з можливістю збереження всіх відповідей в один файл.

### Результати та їх обговорення. Структура тесту Амтхауера

Тест складається з дев'яти субтестів, кожен з яких спрямований на вимірювання різних функцій інтелекту, у всіх субтестах (крім 4, 7 і 9) використовуються завдання закритого типу. Перед початком виконання кожного субтесту випробувані інструктуються. Їм пропонується виконати задачі подібного типу (тренувальні). Потім реєструється час виконання кожного субтесту, що складає від 6 до 10 хв. Загальний час тесту – 90 хв [3].

Тест Амтхауера містить такі субтести:

1. На загальну обізнаність і інформованість у різних областях знань (не тільки наукових, але і життєвих).
2. На класифікацію понять.
3. На встановлення аналогій.
4. На підведення двох понять під загальну категорію (узагальнення).
5. На вміння вирішувати прості арифметичні задачі.
6. На вміння знаходити числові закономірності.

7. На вміння подумки оперувати зображеннями фігур на площині.
8. На вміння подумки оперувати зображеннями об'ємних фігур.
9. На заучування слів.

Кожен субтест, за винятком четвертого, складається з 20 завдань, в четвертий субтест входять 16 завдань.

### Блок-схема програми

Етап I. Користувач запускає програму з тестом, на екрані з'являються питання з 1 розділу, які по мірі заповнення відповідями змінюються на питання з наступного розділу. Якщо питання, на яке відповідає користувач, з 1–3, 5–8 розділів, то правильна відповідь позначається обраним радіобаттоном. Якщо питання, на яке відповідає користувач, з 4 розділу, то користувач записує відповідь в інпут своїми словами, оскільки ці питання мають відкриту відповідь. Якщо питання, на яке відповідає користувач, з 9 розділу, то він записує відповідь у відповідну таблицю, оскільки ці питання також мають відкриту відповідь. Якщо відповіді дані на всі питання, то отримані дані записуються у формат .csv та передаються на налаштований комп'ютер, а тест завершується. Якщо відповіді дані не на всі питання, то шлях користувача повертається до питання «З якого розділу це питання?». Блок-схема першого етапу представлена на рис. 1.

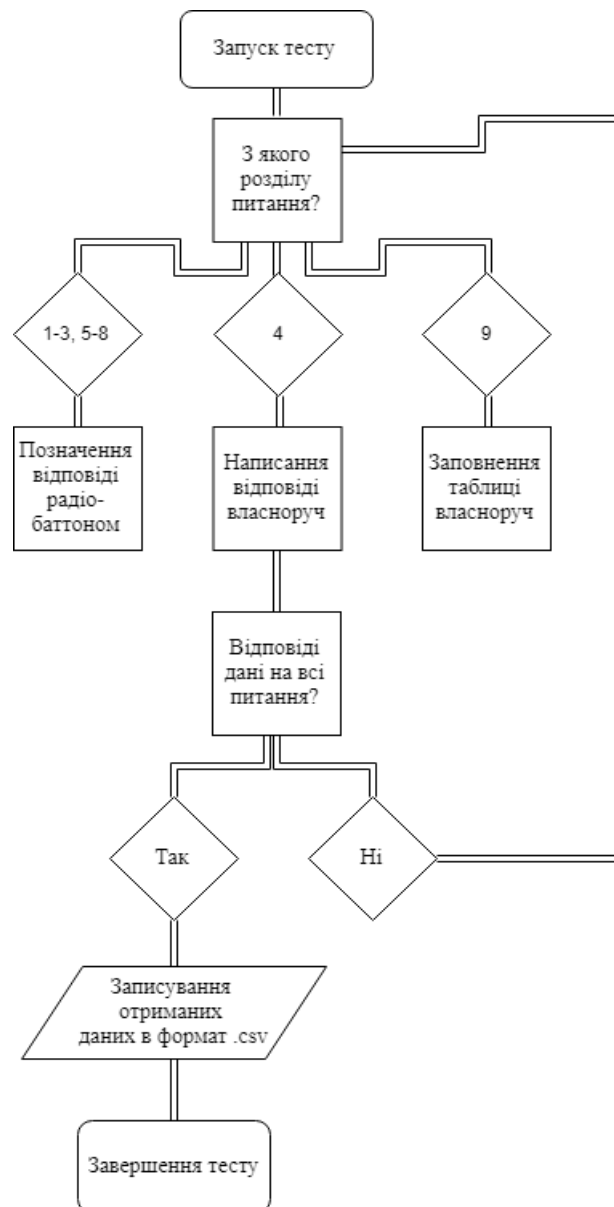


Рис. 1. Блок-схема етапу I

Етап II. Після завершення тесту, отримані дані записуються у .csv файл та відкриваються у програмі Excel. Відбувається перевірка на правильність відповідей, тобто перевіряється кожна комірка. Якщо комірка з відповіддю відноситься до 1–3, 5–8 розділів, то за допомогою формули розраховується результат, тобто якщо відповідь вірна, то додається відповідна кількість балів, якщо відповідь невірна – додається 0. Якщо перевірені всі комірки з 1–3, 5–8 розділів, то підраховується кількість балів і перевірка завершується. Якщо перевірені не всі комірки з 1–3, 5–8 розділів, то повторюється дія з перевіркою результатів у ще не

перевірених комірках. Якщо комірка з відповіддю відноситься до 4 розділу та 9 розділу, то користувач власноруч аналізує і перевіряє відповіді на правильність. Блок-схема другого етапу представлена на рис. 2.

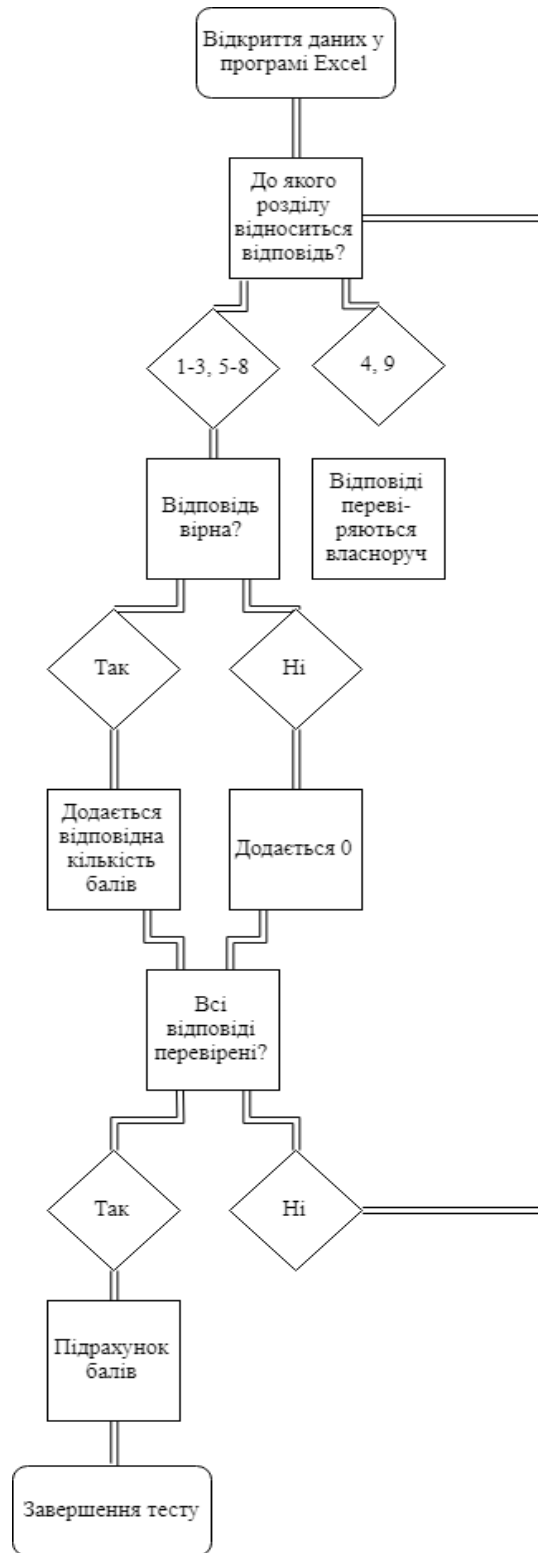


Рис. 2. Блок-схема етапу II

### Результат програмування

В разі відкриття програми з'являється дефолтне вікно (рис. 3) із запитанням готовності користувача до проходження тесту.

На рис. 4 можна побачити результат розроблення одного з вікон програмованого тесту Амтхауера. В питаннях, де є вибір відповіді, може бути тільки одна вірна. Тобто, щоб обрати відповідь на якесь із питань, треба поставити відмітку в одному із радіобаттонів. Якщо користувач захоче вибрати додатково другу відповідь у питанні, мітка в радіобаттоні буде тільки на тому питанні, що був відмічений останнім.

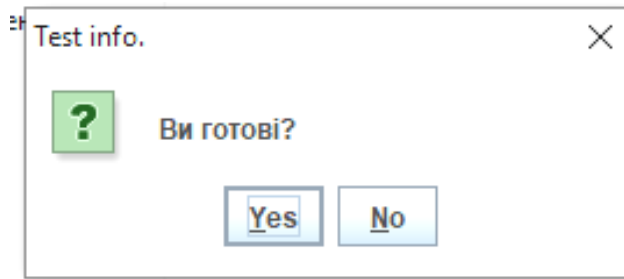


Рис. 3. Дефолтне вікно програми

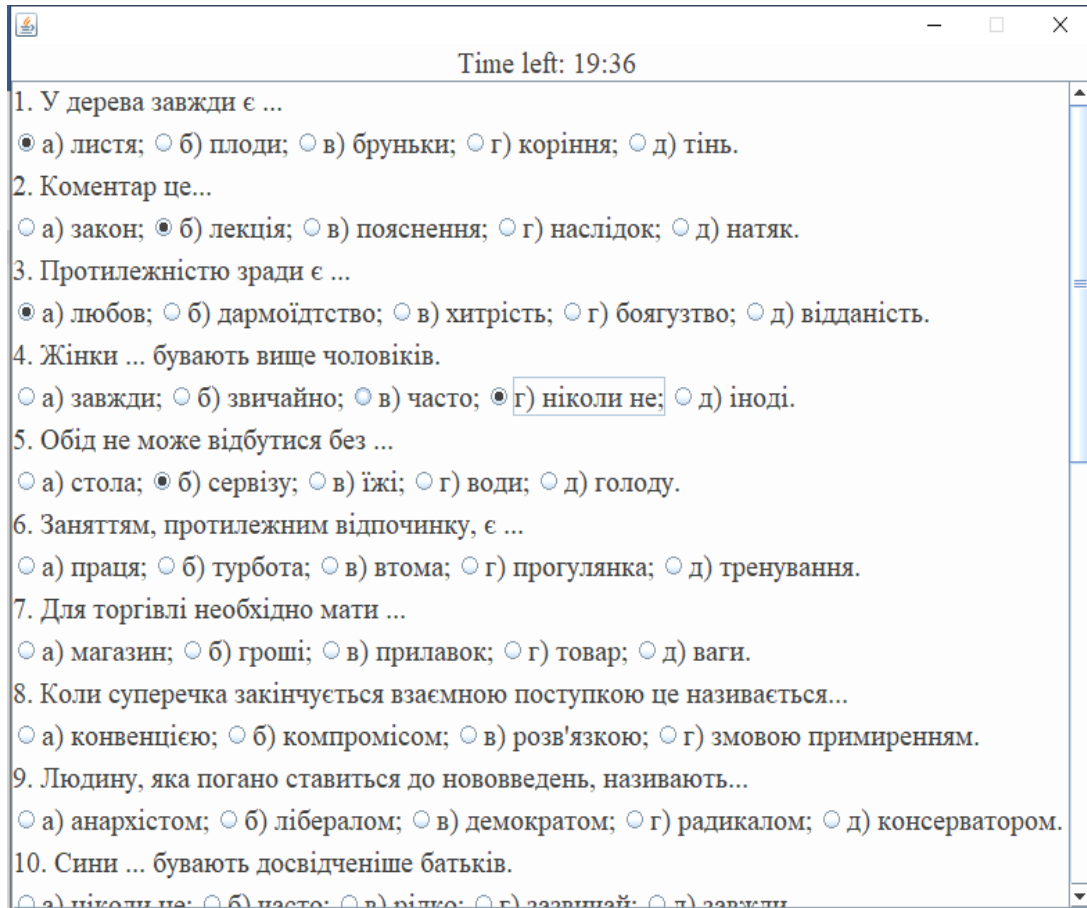


Рис. 4. Вікно створеної програми із запитаннями, що мають закриту відповідь

Також у тесті реалізована можливість вводу власної відповіді користувачем у відповідне поле вводу (рис. 5).

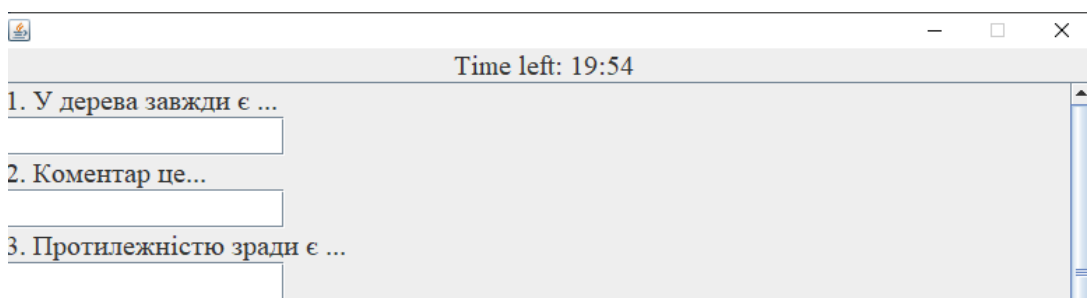


Рис. 5. Вікно створеної програми із питаннями, що мають відкриту відповідь

Після завершення тесту всі введені відповіді записуються у створений програмою файл формату .csv. Якщо відповідь закритого типу – записується буква обраної відповіді, якщо відповідь відкритого типу – записується введена користувачем інформація, якщо відповідь не була надана – ставиться тильда. Скріншот файлу із записаними введеними даними показаний на рис. 6.

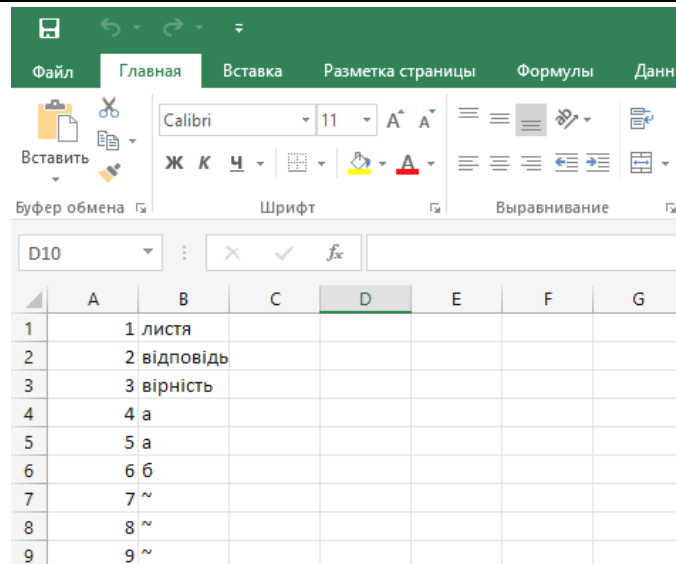


Рис. 6. Файл з введеними даними

Оскільки мова програмування даної програми Java, то програма піддається користувацьким змінам налаштування інтерфейсу та шляхів до відповідних файлів. На рис. 7 представлено вікно налаштувань програми, які користувач може змінити.

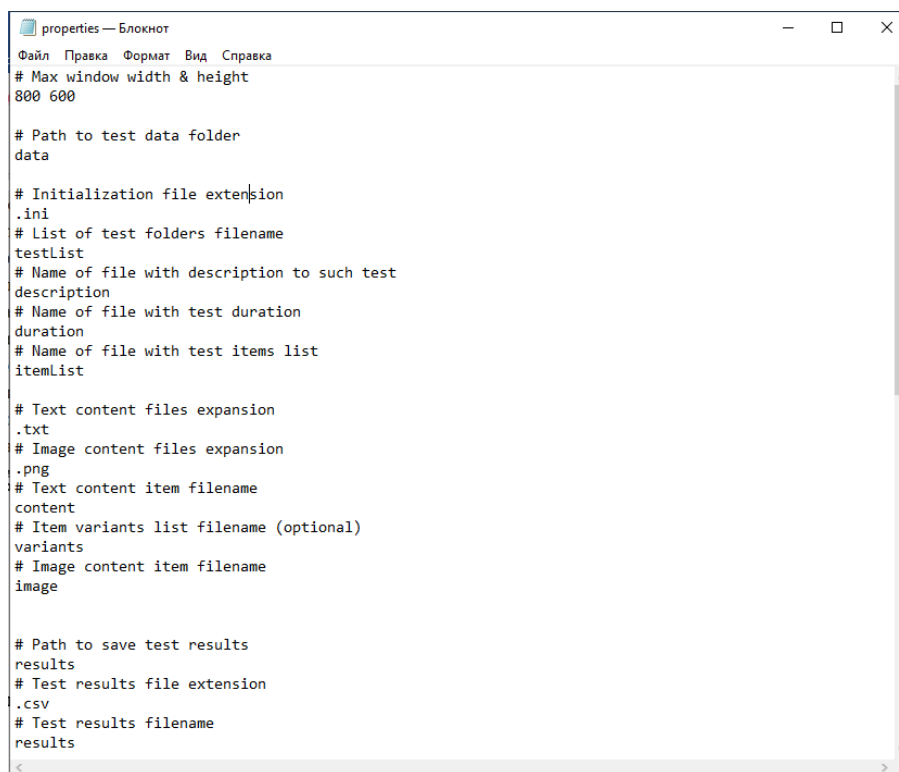


Рис. 7. Вікно налаштувань програми

### Висновки

Розроблено програму, яка є комп'ютерним додатком – тестом. У програмі реалізовано виведення питань у вигляді тексту та зображень, а також можливість введення відповіді у текстове поле і вибір варіанту відповіді у вигляді радіобаттону.

Для оптимізації навчального процесу, була реалізована передача введених даних з усіх комп'ютерів в один файл задля перевірки відповідей на правильність і аналіз отриманих даних спеціалізованим фахівцем.

### Література

1. Тест структуры интеллекта Амтхауэра [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://childpsy.ru/lib/metodics/15378/>

2. Тест структуры интеллекта Амтхауэра [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://psylab.com.ua/tools\\_Тест\\_Структуры\\_Интеллекта\\_Амтхауэра](https://psylab.com.ua/tools_Тест_Структуры_Интеллекта_Амтхауэра)
3. Кинякина О.Н. Мозг на 100%. Интеллект. Память. Креатив. Интуиция / Кинякина О.Н. – М. : Эксмо, 2014. – С. 56-57.
4. Костюкевич В.М. Основні поняття математичної статистики / В.М. Костюкевич, О.А. Шинкарук // Статистичні методи опрацювання результатів досліджень. – 2017.
5. Эккель Б. Философия Java / Брюс Эккель. – М. : Питер, 2016. – С. 89.
6. Fabio, Luigi Bellifemine Developing Multi-Agent Systems with JADE / Fabio Luigi Bellifemine. – Москва : ИЛ, 2016. – С. 150–178.
7. Васильев А. Н. Самоучитель Java с примерами и программами / А.Н. Васильев. – М. : Наука и техника, 2016. – С. 54–56.
8. Java Руководство для начинающих [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rulit.me/books/java-rukovodstvo-dlya-nachinayushchih-lp-read-386440-1.html>
9. Ренеган Э.Дж. (мл.) 1001 адрес WEB для программистов: Новейший путеводитель программиста по ресурсам World Wide Web / Ренеган Э.Дж. (мл). / [пер. с англ.]. – Минск : Попурри, 1997. – С. 515.
10. Чен М.С. Программирование на JAVA:1001 совет: Наиболее полное руководство по Java и Visual J++ / Чен М.С., Грифис С.В., Изи Э.Ф. / [пер. с англ.]. – Минск : Попурри, 1997. – С. 512.
11. SWT: The Standard Widget Toolkit [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.eclipse.org/swt/>

#### References

1. Test struktury intellekta Amthauera. URL: <http://childpsy.ru/lib/metodics/15378/>
2. Test struktury intellekta Amthauera. URL: [https://psylab.com.ua/tools\\_Тест\\_Структуры\\_Интеллекта\\_Амтхауэра](https://psylab.com.ua/tools_Тест_Структуры_Интеллекта_Амтхауэра)
3. Kinyakina O.N. Mozg na 100%. Intellekt. Pamyat. Kreativ. Intuiciya / Kinyakina O.N. – M. : Eksmo, 2014. – S. 56-57.
4. Kostyukovich V.M. Osnovni poniattia matematychnoyi statystyky / V.M. Kostyukovich, O.A. Shynkaruk // Statystychni metody opratsiuvannya rezultativ doslidzhen. – 2017.
5. Ekkel B. Filosofiya Java / Bryus Ekkel. – M. : Piter, 2016. – S. 89.
6. Fabio, Luigi Bellifemine Developing Multi-Agent Systems with JADE / Fabio Luigi Bellifemine. – Moskva : IL, 2016. – S. 150–178.
7. Vasilev A. N. Samouchitel Java s primerami i programmami / A.N. Vasilev. – M. : Nauka i tehnika, 2016. – S. 54–56.
8. Java Rukovodstvo dlya nachinayushih. URL: <https://www.rulit.me/books/java-rukovodstvo-dlya-nachinayushchih-lp-read-386440-1.html>
9. Renegan E.Dzh. (ml.) 1001 adres WEB dlya programmistov: Novejshij putevoditel programmista po resursam World Wide Web / Renegan E.Dzh. (ml). / [per. s angl.]. – Minsk : Popurri, 1997. – S. 515.
10. Chen M.S. i dr. Programirovanie na JAVA:1001 sovet: Naibolee polnoe rukovodstvo po Java i Visual J++ / Chen M.S., Grifis S.V., Izi E.F. / [per. s angl.]. – Minsk : Popurri, 1997. – S. 512.
11. SWT: The Standard Widget Toolkit. URL: <https://www.eclipse.org/swt/>

Рецензія/Peer review : 14.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 03.11.2020 р.

В.М. ПРИШЛЯК, І.М. КУПЧУК, А.М. ДІДИК, В.М. КУПЧУК  
Вінницький національний аграрний університет

## СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМ ВІДДАЛЕНОГО АДМІНІСТРУВАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ СТУДЕНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Інноваційний технічний розвиток будь-якої галузі забезпечує конкурентоспроможність у складному ринковому середовищі. Безумовно, технічне забезпечення агропромислового виробництва сучасними наукоємними машинами та агрегатами є важливим фактором зростання прибутковості кожного сільгосптоваровиробника, зокрема, і сільськогосподарської галузі в цілому. Удосконалення існуючих і розробка нових технологічних процесів, а також машин неможливе без зростання якісного рівня підготовки майбутніх агроінженерних фахівців у закладах вищої освіти, підвищення інтегральних, загальних і професійних компетентностей проектною діяльністю. Освітніми програми навчання студентів інженерних спеціальностей передбачено виконання індивідуальних графічних і розрахунково-графічних завдань, курсових та дипломних робіт чи проектів, які закладають основи креативної професійної майстерності інженерних фахівців. Традиційно та обґрунтовано, дані види навчальних занять мають відбуватися при постійному контролі та чіткому керівництві викладачем. Сучасні реалії, що склалися внаслідок стрімкого розповсюдження пандемії COVID-19 зумовлюють пошук альтернативних методів контролю та керівництва, відмінних від традиційного аудиторного консультування. Таким чином, при виконанні студентами індивідуальних завдань (розрахунково-графічних робіт, курсових проектів тощо), авторами запропоновано перенесення класичної форми аудиторного консультування у дистанційну on-line форму, з використанням програм віддаленого адміністрування та засобів голосового/відео зв'язку. Методологія педагогіки вищої школи у світлі сучасної науково обґрунтованої парадигми застосування програм віддаленого адміністрування в навчальному процесі студентів інженерних спеціальностей потребує системного гносеологічного, педагогічного та технічного досліджень, задля отримання оптимального результату та ефективного застосування у навчальному процесі підготовки агроінженерних фахівців. У роботі із застосуванням наукових методів аналізу та синтезу представлено програми віддаленого адміністрування (програми або функції операційних систем), що дозволяють отримати віддалений доступ до комп'ютера через Інтернет або локальну мережу і здійснювати управління та адміністрування віддаленого комп'ютера в реальному часі. Програми віддаленого адміністрування надають майже повний контроль над віддаленим комп'ютером: вони дають можливість дистанційно керувати робочим столом комп'ютера, можливість копіювання або видалення файлів, запуску додатків та ін.

Ключові слова: дистанційна форма навчання, програми віддаленого адміністрування, месенджери, консультування студентів, інженерно-технічна творчість.

V.M. PRYSHLYAK, I.M. KUPCHUK, A.M. DIDYK, V.M. KUPCHUK  
Vinnytsia National Agrarian University

## STATE AND PROSPECTS OF APPLICATION OF REMOTE ADMINISTRATION PROGRAMS IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF ENGINEERING STUDENTS

Innovative technical development of any industry ensures competitiveness in a complex market environment. Of course, the technical support of agro-industrial production with modern science-intensive machines and units is an important factor in increasing the profitability of each agricultural producer, in particular, and the agricultural industry as a whole. Improvement of existing and development of new technological processes, as well as machines is impossible without increasing the quality level of training of future agro-engineering specialists in higher education institutions, increasing integrated, general and professional competencies of project activities. Educational programs for students of engineering specialties provide for the implementation of individual graphic and calculation-graphic tasks, course and diploma works or projects that lay the foundations of creative professional skills of engineering specialists. Traditionally and reasonably, these types of classes should take place under constant control and clear guidance of the teacher. The current realities of the rapid spread of the COVID-19 pandemic lead to the search for alternative methods of control and management other than traditional audience counselling. Thus, when students perform individual tasks (calculation and graphic works, course projects, etc.), the authors propose to transfer the classic form of classroom counselling to remote on-line form, using remote administration programs and voice / video communication. The methodology of higher school pedagogy in the light of modern scientifically substantiated paradigm of application of remote administration programs in the educational process of engineering students requires systematic epistemological, pedagogical and technical research to obtain optimal results and effective application in the educational process of agroengineering specialists. The work with the use of scientific methods of analysis and synthesis presents remote administration programs (programs or functions of operating systems) that allow remote access to a computer via the Internet or local network and manage and administer a remote computer in real time. Remote administration programs provide almost complete control over a remote computer: they allow you to remotely control your computer desktop, the ability to copy or delete files, run applications, and more.

Key words: distance learning, remote administration programs, messengers, student counselling, engineering and technical creativity.

### Вступ

Наявність в Україні великих площ багатих і родючих земель дає хороші перспективи для розвитку агробізнесу. Однак великих успіхів у аграрній сфері досягнути неможливо без розвитку інноваційного, конкурентоздатного технічного забезпечення усіх галузей агропромислового комплексу. Розробляти і раціонально використовувати сучасну сільськогосподарську техніку спроможні тільки високоякісно підготовлені інженерно-технічні кадри. Виконувати виробничі функції агроінженеру, а особливо проектувальну функцію, котра передбачає проектування сільськогосподарських машин і технологічних процесів, необхідно



із врахуванням специфічних властивостей та ознак об'єктів виробничої діяльності, оскільки вони є живими організмами різноманітних видів флори і фауни та потребують бережливого ставлення до них. Задекларований в Україні євроінтеграційний розвиток агроінженерної освіти характеризується зростанням інноваційної та соціально-гуманістичної складових на основі нових науково-інформаційних технологій навчання. Конкурентоспроможна інноваційна освіта зорієнтована на перспективу та базується на формуванні інтегральних, загальних і спеціальних компетентностей майбутніх агроінженерних фахівців, котрі спроможні використовувати методи прогнозування, моделювання, проектування, задія забезпечення виконання різноманітних виробничих, наукових, соціальних та інших функцій.

Оскільки, повноцінна інженерна діяльність у галузі сільськогосподарського виробництва може бути забезпечена лише на базі освіти, яка включає фундаментальну підготовку, що ґрунтується на науково-оптимізованій методологічній складовій технології навчання.

### Аналіз досліджень та публікацій

Як вже було зазначено, сьогодні вища освіта в Україні знаходиться на стадії реформування й модернізації. На це вказує і той факт, що Україна приєдналася до Болонського процесу з метою увійти в європейське наукове співтовариство. Разом з тим, динамічність технічного прогресу вимагає від майбутніх інженерів вміння оперативно реагувати на питання, пов'язані з використанням передового досвіду експлуатації технічних засобів, пристроїв, технологічного обладнання, новітніх технологій, що використовуються в галузі, бути здатними приймати інженерно-грамотні рішення і застосовувати креативні підходи під час розв'язання професійних задач.

Багатьма вченими, у тому числі Бендерою І.М. [1, 2], Брюхановою Н.О. [3], Гуревичем Р.С. [4], Джеджулою О.М. [5], Дуганцем В.І. [6, 7], Маньком В.М. [8], Лузаном П.Г., Wojciech Tapas [1] та ін. досліджувались особливості виробничої діяльності агроінженерних фахівців й освітні технології, котрі забезпечують необхідні професійні знання, уміння, навички та компетенції. Результати досліджень показали, що творча мотивовано-орієнтована співпраця із залученням дидактичних засобів навчання спроможна забезпечити якісну підготовку агроінженерних фахівців [8, 9]. Проте стрімкий характер еволюції технологічних систем, призводить до виникнення ситуації, коли сформовані уявлення про сучасний розвиток агроінженерії не в повній мірі відповідають дійсності, а отримані за період навчання студентом знання на кілька років відстають по актуальності від досягнень сьогодення [10, 11]. В першу чергу, головною причиною цієї невідповідності є непристосованість методологічних підходів та засобів навчання до таких темпів наукового прогресу, що зумовлює потребу в суттєвому удосконаленню технологій навчання майбутніх агроінженерів [12], у напрямку раціоналізації освітнього процесу та зменшення частки непродуктивних втрат часу, у тому числі і за рахунок використання інформаційних технологій, як одного із можливих інструментів такої раціоналізації.

Проблемам впровадження і ефективного використання інформаційних технологій у навчальному процесі присвячені роботи Гуревича Р.С., Кадемї М. Ю. [13], Джеджули О.М. [14], Жалдака М.І., Морзе Н.В. [15] та інших науковців-практиків, які безумовно внесли свій суттєвий внесок у модернізацію педагогічних технологій підготовки майбутніх інженерів, проте, як показують сучасні реалії, резерви для оптимізації освітнього процесу вичерпані не повністю.

Таким чином, проаналізувавши особливості технологій підготовки майбутніх агроінженерів у ЗВО аграрного профілю [16], можна зробити висновки, що під час освоєння виконання студентами поза-аудиторних складових з набуття навичок інженерно-технічної творчості та проектування аграрних технічних систем, таких як курсове та дипломне проектування, має місце нераціональне використання часу студента на отримання консультацій наукового керівника.

За даними власних спостережень авторів [17], тривалість обміну інформацією між сторонами освітнього процесу зазвичай становить не більше 10–25 % по відношенню до затрат часу на створення умов при яких цей обмін може відбутися. Тривалість такого підготовчого періоду залежить від низки складових, причому більшість із них мають стохастичний характер та важко прогнозовані. До числа таких структурних елементів можна віднести завантаження операційної системи ПК, програмного забезпечення, відкриття креслеників, розрахунків, таблиць, прибуття студента до місця зустрічі з керівником, наприклад до навчальної лабораторії, та зворотній шлях, проте цей перелік не є вичерпним.

Крім того, в умовах прогресування пандемії COVID-19 та вжитих карантинних заходів, взагалі втрачається можливість ефективної реалізації індивідуально-орієнтованих складових навчального процесу. Важливість формування навичок інженерно-технічної творчості та проектування у студентів-агроінженерів [18], та сучасні складнощі, що виникають в освітньому процесі визначають необхідність впровадження нових, більш гнучких технологій, дистанційної освіти в навчальний процес, що визначає актуальність статті.

### Формулювання цілей

Таким чином, враховуючи важливість індивідуально-орієнтованих елементів освітнього процесу для формування спеціальних компетентностей майбутніх інженерів, зокрема курсових проектів та дипломного проектування, як фундаментальної складової розвитку інженерно-технічної майстерності, а також виклики і потреби сьогодення, була сформульована мета досліджень, яка полягає в оптимізації часу на консультацію студента науковим керівником при умові забезпечення повноцінного інформаційного обміну між ними шляхом використання більш гнучких технологій віддаленого адміністрування та онлайн-зв'язку.

## Результати досліджень та їх обговорення

Отже, як було вже зазначено, думки багатьох науковців та педагогів-практиків зійшлися на тому, що чи не найбільш важливими складовими освітніх програм студентів інженерних спеціальностей, які закладають основу професійної майстерності є індивідуальні графічні, розрахунково-графічні та курсові роботи і проекти [18, 19]. Традиційно та обґрунтовано, дані види навчальних занять мають відбуватися при постійному контролі та чіткому керівництві викладачем. Однак сучасні реалії, що склалися внаслідок стрімкого розповсюдження пандемії COVID-19 зумовлюють до пошуку альтернативних методів контролю та керівництва, відмінних від традиційного аудиторного консультування. Таким чином, при виконанні студентами індивідуальних завдань (курскових проектів, розрахунково-графічних тощо), авторами запропоновано перенесення класичної форми аудиторного консультування у дистанційну on-line форму, з використанням програм віддаленого адміністрування та засобів голосового/відео зв'язку.

Серед числа представлених на ринку інформаційних технологій програмних продуктів для обміну інформацією між персональними комп'ютерами з використанням аудіо- та відеозв'язку, найбільш доступним варіантом є програмне забезпечення Skype від Microsoft Corporation [20]. Очевидною перевагою використання такого засобу IT-телефонії є можливість підтримки зв'язку з користувачами незалежно від їх місця перебування через мережу Інтернет та відсутність потреби придбання ліцензії користувача, абонентської плати тощо. Крім того Skype дозволяє здійснювати обмін текстовими повідомленнями і файлами та характеризується зручним інтерфейсом.

Альтернативним варіантом, який характеризується аналогічними функціональними можливостями є додаток-messenger Viber розроблений ізраїльською компанією Viber Media [21].

Програми віддаленого адміністрування – програми або функції операційних систем, що дозволяють отримати віддалений доступ до комп'ютера через Інтернет або локальну мережу і здійснювати управління та адміністрування віддаленого комп'ютера в реальному часі. Програми віддаленого адміністрування надають майже повний контроль над віддаленим комп'ютером: вони дають можливість дистанційно керувати робочим столом комп'ютера, можливість копіювання або видалення файлів, запуску додатків і т. д. [22].

За типом задач, що можуть вирішуватися з використанням персональне дистанційне управління, їх можна розділити на три групи [17]:

1. Засоби організації термінальних сесій (термінальні сервери), що забезпечують одночасну роботу декількох користувачів з одним комп'ютером.
2. Засоби дистанційної допомоги, що забезпечують використання однієї і тієї ж сесії локальним і віддаленим користувачем (дії, що виконуються на локальному комп'ютері відображаються на моніторі віддаленого і навпаки).
3. Засоби дистанційного виконання задач, що не надають можливості безпосереднього доступу до локального покажчика миші та екрану, але дозволяють віддалене виконання певного переліку команд.

Необхідною умовою для проведення on-line консультації є взаємне відображення дій що виконуються на комп'ютері студента і викладача, тому для досягнення поставленої мети буде доцільно здійснити порівняльну оцінку найбільш поширених та доступних на ринку інформаційних технологій програм дистанційної допомоги, що відносяться до другої групи. В результаті проведених пошукових досліджень [17, 22, 23], серед низки IT-продуктів, було вибрано шість варіантів програмного забезпечення, які мають простий інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, надійні та безпечні в роботі і найбільше користуються попитом серед користувачів.

Порівняльна оцінка виконувалась за матеріальними, технічними та функціональними показниками шляхом аналізу інформації з відкритих джерел інформації [23]. Разом із тим, варто зазначити, що основним завданням, яке ставилось при опрацюванні та систематизації масиву різних за своєю структурою даних, з подальшим відображенням їх у придатній то співставлення формі є формування підґрунтя для впровадження технологій on-line консультування в освітній процес, при цьому надання переваги тому чи іншому варіанту програмного забезпечення залишається за педагогом-практиком. При очевидних перевагах засобів забезпечення on-line форми навчання (табл. 1), не можна не погодитися з думкою професора Джеджули О.М. [14], що університети мають різні фінансові та техніко-технологічні можливості для ефективного впровадження IT у навчальний процес. Крім того, в ході вибору варіанту необхідною умовою є узгодження і відповідність функціональних можливостей програмного забезпечення зі специфікою навчальної дисципліни або завданнями які лежать в основі виконання індивідуального завдання студентом [18].

Таким чином, взявши до уваги перелічені аспекти авторами рекомендується використання програмного продукту компанії Ammy Group – «Ammy admin» v3.10 [24] для використання в навчальному процесі, під час здійснення консультування науковими керівниками студентів спеціальностей 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» під час дипломного та курсового проектування.

Отже, інформаційний обмін між сторонами освітнього процесу забезпечується шляхом використання ними можливостей програми дистанційної допомоги «Ammy admin» v3.10 та додатка-месенджера Viber (або Skype) та здійснюється в декілька етапів:

1. Встановлення з'єднання за допомогою додатка-месенджера Viber (рис. 1, а) між студентом і його керівником (консультантом).
2. Запуск студентом та консультантом на своїх персональних комп'ютерах програмного продукту Ammy Admin v3.10 на ПК.

## Порівняння рекомендованих варіантів програмного забезпечення для віддаленого

Назва	Матеріальні показники		Технічні показники			Функціональні показники						
	Вартість ліцензії, \$	Термін дії ліцензії	Системні вимоги (мінімальні)			Оптимізація роботи	Мобільна платформа	Український (рос.) інтерфейс	Обмін файлами	Ветановлення ПЗ	Текстовий чат	Аудіо чат
Radmin	23	Без терм.	ОС: Windows (10, 8, 7, Vista, XP, 2012, 2008, 2003, 2000); Мережа: 100 Мбіт/с; Процесор: 2 ГГц; ОЗП: 256 МБ			+	-	+	+	+	+	+
NetOp	205	1 рік	ОС: Windows (XP, Vista, 7), Mac OS (10.5, 10.6, X 10.7); Мережа: 100 Мбіт/с; Процесор: 1.4 ГГц; ОЗП: 768 МБ			+	-	+	+	+	+	+
УП	Входить до ОС Windows (10, 8, 7, Vista, XP)			-	+	+	+	-	-	-		
Team Viewer	500	Без терм.	ОС: Windows (10, 8, 7, Vista, XP, 2012, 2008, 2003, 2000), Chrome OS, iOS 9, Android Marshmallow, OS X 10.8, El Capitan; Мережа: 100 Мбіт/с; Процесор: 1.2 ГГц; ОЗП: 256 МБ			+	+	+	+	+	+	+
Lite Manager	620	Без терм.	ОС: Windows (10, 8, 7, Vista, XP); Мережа: 100 Мбіт/с; Процесор: 1.2 ГГц; ОЗП: 256 МБ			+	+	+	+	+	+	+
Ammy admin	70	Без терм.	ОС: Windows (10, 8, 7, Vista, XP); Мережа: 100 Мбіт/с; Процесор: 1.0 ГГц; ОЗП: 64 МБ			+	-	+	+	+	+	+

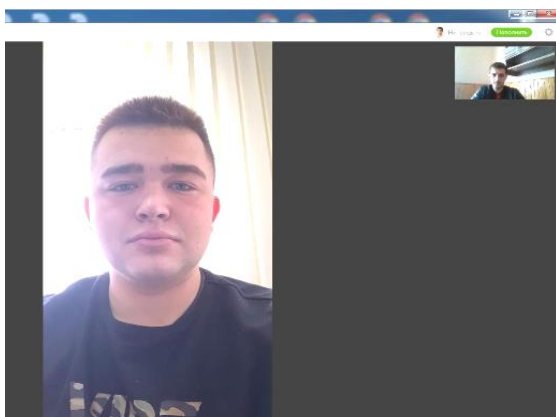
3. Введення консультантом IP-адреси або ID та пароля доступу до персонального комп'ютера студента (рис. 1, б).

4. Виконання команди «Підключення», після чого на моніторі консультанта відкриється нове вікно додатка операційної системи (рис. 2) (у представленому на рис. 2 прикладі – Application Windows 7).

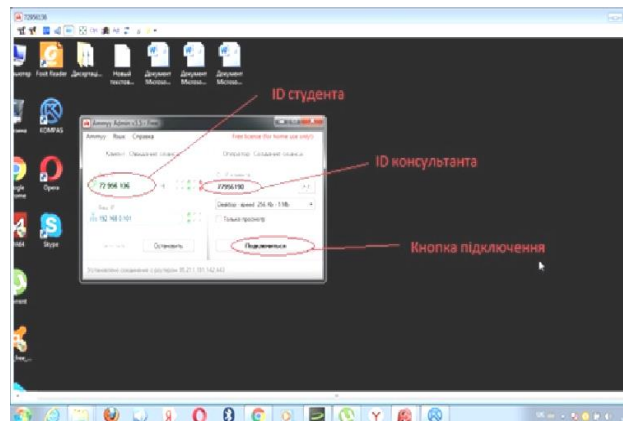
5. Проведення консультації шляхом взаємного інформаційного обміну між студентом та консультантом у формі запитань, відповідей, настанов, рекомендацій в режимі відео-дзвінка з додатку-месенджера Viber, що супроводжується додатковим підсиленням процесу сприйняття студентом предметних питань он-лайн заняття шляхом візуалізації дій керівника у вікнах прикладних програм, що містять матеріали результатів виконання індивідуального завдання (креслення в графічних редакторах, розрахунки в табличних та текстових редакторах тощо).

6. У разі потреби додатково здійснюється обмін файлами та текстовими повідомленнями.

7. Після закінчення інформаційного обміну (консультації) завершення сеансу відбувається шляхом закриття вікна (рис. 2) Application Windows 7 («Ammy admin» v3.10) на комп'ютері консультанта та завершенням сеансу з'єднання Viber.

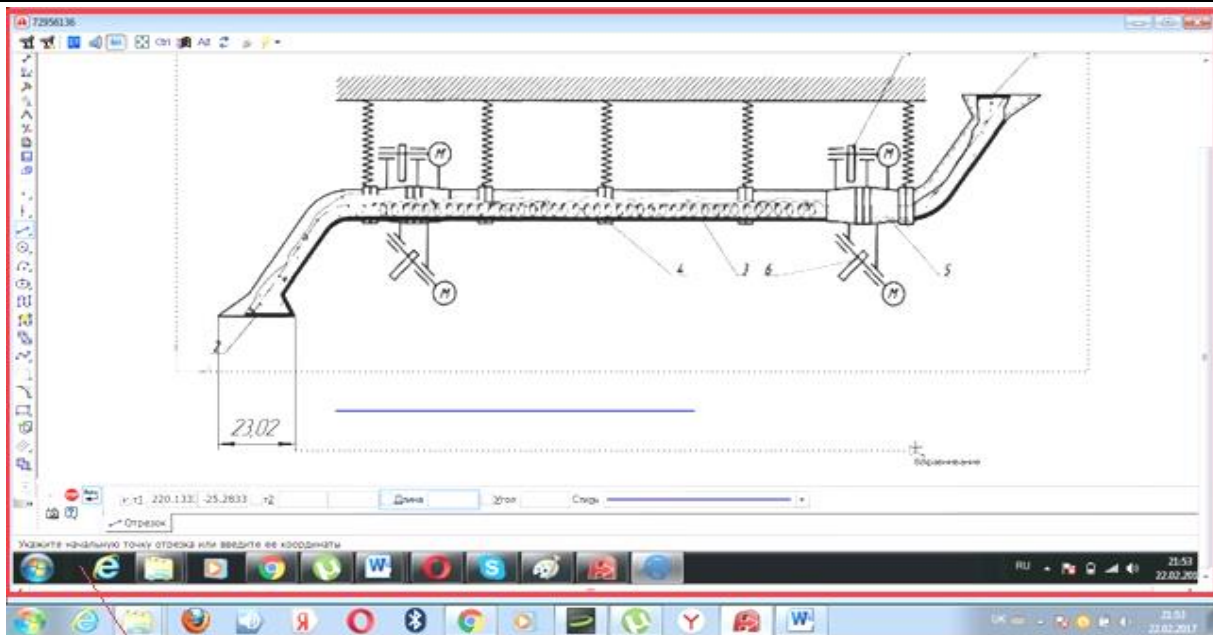


а



б

Рис. 1. Налаштування з'єднання Viber (а) та «Ammy admin» v3.10 (б)



Область на ПК студента

Рис. 2. Візуалізація дій у графічному редакторі Компас v13.0, запуск якого виконано керівником на комп'ютері студента

### Висновки

Нівелювати їх вплив на функціонування загальнонаціональної системи вищої освіти можливо застосуванням програмних засобів віддаленого адміністрування в поєднанні із додатками на основі ІТ-телефонії, що дозволяє забезпечити безперервність повноцінної підготовки майбутнього фахівця-інженера, як альтернативний варіант по відношенню до традиційного освітнього процесу, що здійснюється згідно з апробованими і перевіреними часом технологіями навчання, має широкий набір інструментів та ефективних засобів навчання, проте можливість використання яких, в умовах пандемії COVID-19, суттєво обмежується.

Разом з тим, потрібно зазначити, що представлені в статті результати порівняльної оцінки характеризують сучасні програмні продукти для проведення on-line консультацій лише за окремими показниками, та можуть бути підґрунтям для вибору педагогом найбільш прийняттого варіанта ІТ віддаленого адміністрування виходячи із конкретних умов та враховуючи особливості навчальної програми.

Пакетні ж рішення для організації навчального процесу у віртуальних класах, що пропонують провідні фірми-виробники, характеризуються оригінальністю алгоритмів і принципів роботи, властивостей та структури, мають різноманітні функціональні можливості та важко піддаються порівнянню. Тому вибір конкретного технічного рішення потрібно здійснювати виходячи із наявної матеріально-технічної бази, фінансових можливостей ЗВО та завдань, для яких має використовуватись програма віддаленого адміністрування.

### Література

1. Бендера І.Н. Сквозное курсовое и дипломное проектирование – путь к активизации самостоятельной работы студентов аграрно-инженерных специальностей / И.Н. Бендера, Т. Войчеч Wojciech // *Problemy inzynierss rolniczes w aspekcie rolnictwa zrownowazonego*. – 2005. – № 1. – С. 180–192.
2. Бендера І.М. Теорія і методика організації самостійної роботи майбутніх фахівців з механізації сільського господарства у вищих навчальних закладах : дис. ... докт. пед. наук : 13.00.04 / Бендера Іван Миколайович. – Київ, 2008. – 579 с.
3. Брюханова Н.О. Теорія і методика проектування системи педагогічної підготовки майбутніх інженерів-педагогів : дис. ... д-ра пед. наук / Брюханова Наталія Олександрівна. – Луганськ, 2011. – 594 с.
4. Гуревич Р.С. Інформаційно-комунікаційні технології в навчальному процесі / Р.С. Гуревич, М.Ю. Кадемія. – Вінниця : ДОВ "Вінниця", 2002. – 116 с.
5. Джеджула О.М. Актуальні проблеми графічної підготовки студентів вищих навчальних закладів / О. М. Джеджула. – Вінниця : ВЦ ВДАУ, 2005. – 280 с.
6. Дуганець В.І. Виробниче навчання фахівців аграрно-інженерного профілю : навч. посіб. / В.І. Дуганець. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2013. – 336 с.
7. Дуганець В.І. До питання наскрізної самостійної практичної роботи студентів агроінженерних спеціальностей / В.І. Дуганець, І.М. Бендера // *Наука і методика* : зб. наук.-метод. пр. – 2005. – Вип. 4. – С. 31–33.

8. Pryshliak V. M. Role of project preparation in formation professional competence of future specialists in agroengineering / V. M. Pryshliak // *Trans Motauto World: International scientific journal*. – 2017. – Issue. 4. – P. 162–165.
9. Карпюк І.Ю. Вивчення проблеми формування професійних компетенцій майбутніх спеціалістів у сучасній освіті / І.Ю. Карпюк // *Вісник НТУУ “КПІ”. Філософія. Психологія. Педагогіка*. – 2010. – Вип. 1. – С. 172–176.
10. Ничкало Н.Г. Проектування процесу професійного навчання у закладах профтехосвіти : монографія / Н. Г. Ничкало, І.А. Зюзюн, С.У. Гончаренко. – Київ – Хмельницький : ХНУ, 2010. – 335 с.
11. Костюк Д.А. Структура фахової компетентності майбутніх інженерів енергетиків сільськогосподарського виробництва / Д.А. Костюк // *Нові технології навчання*. – 2011. – Вип. 67, ч. 1. – С. 170–175.
12. Пришляк В.М. Знаходження величини сили тиску на підводні гідроспороди у проектно-конструкторській практиці й агроінженерній підготовці фахівців / В.М. Пришляк, В.М. Дубчак // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2020. – № 1 (108). – С. 111–122.
13. Гуревич Р. С. Інформаційно-телекомунікаційні технології в навчальному процесі та наукових дослідженнях : навч. пос. / Р. С. Гуревич, М. Ю. Кадемія. – Київ – Вінниця : ТОВ “Планер”, 2005. – 36 с.
14. Дзеджула О.М. Особливості створення університетських освітніх інформаційних середовищ / О.М. Дзеджула // *Професійна підготовка фахівця в контексті потреб сучасного ринку праці : матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (28 лютого 2017 р.)*. – Вінниця : Вінницький національний аграрний університет, 2017. – С. 13–15.
15. Морзе Н.В. Методика навчання інформатики : [навч. посіб. : в 4 ч. Ч. II: Методика навчання інформаційних технологій] / Н.В. Морзе, М.І. Жалдак ; за ред. акад. М.І. Жалдака. – Київ : Навчальна книга, 2003. – 287 с.
16. Курило В.Л. Механіко-технологічні властивості стебел як передумова до розробки робочих органів сільськогосподарських машин і формування проектних компетентностей агроінженера / В.Л. Курило, В.М. Пришляк // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2019. – № 1 (104). – С. 20–27.
17. Солоня О.В. Використання систем віддаленого адміністрування при підготовці майбутніх випускників інженерних спеціальностей / О. В. Солоня, І.М. Купчук // *Професійна підготовка фахівця в контексті потреб сучасного ринку праці : матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (28 лютого 2017 р.)*. – Вінниця : Вінницький національний аграрний університет, 2017. – С. 249–252.
18. Трансформація самостійної навчальної діяльності у готовність до професійного саморозвитку засобами технологій особистісно орієнтованого навчання : монографія / [М.М. Бондар, Л.М. Журавська, Є.О. Остапенко, В.М. Пришляк, А.Г. Куценко]. – Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2016. – 760 с.
19. Моторна Л. Об’єктивні основи інтеграції загальної та спеціально-технічної освіти у ВНЗ I-II рівнів акредитації / Л. Моторна // *Вісник Черкаського університету : наук. журнал. Серія педагогічна*. – 2008. – Вип. 125. – С. 107–111.
20. Skype. Microsoft [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.microsoft.com/uk-ua>.
21. Функции Viber. Viber Media [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.viber.com/ru>.
22. Программы. Интернет. Сеть. Xetcom 1.91 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://xetcom.com/programs/internet/network>.
23. Віддалене адміністрування. Вікіпедія. Вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/Віддалене\\_адміністрування](https://uk.wikipedia.org/Віддалене_адміністрування).
24. Ammyu Admin v3.10 – Система удаленного администрирования и дистанционного обучения. Ammyu [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://www.ammyu.com/ru/admin\\_features.html](https://www.ammyu.com/ru/admin_features.html).

#### References

1. Bendera I.N. Skvoznoe kursovoe i diplomnoe proektirovanie – put k aktivizacii samostoyatelnoj raboty studentov agrarno-inzhenernykh specialnostej / I.N. Bendera, T. Vojtech Wojciech // *Problemy inzynierss rolniczes w aspekcie rolnictwa zrownowazonego*. – 2005. – № 1. – S. 180–192.
2. Bendera I.M. Teoriia i metodyka orhanizatsii samostiinoi roboty maibutnikh fakhivtsiv z mekhanizatsii silskoho hospodarstva u vyshchykh navchalnykh zakladakh : dys. ... dokt. ped. nauk : 13.00.04 / Bendera Ivan Mykolaiovych. – Kyiv, 2008. – 579 s.
3. Briukhanova N.O. Teoriia i metodyka proektuvannia systemy pedahohichnoi pidhotovky maibutnikh inzheneriv-pedahohiv : dys. ... dokt. ped. nauk : 13.00.04 / Briukhanova Nataliia Oleksandrivna. – Luhansk, 2011. – 594 s.
4. Hurevych R.S. Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii v navchalnomu protsesi / R.S. Hurevych, M.Iu. Kademiia. – Vinnytsia : DOV "Vinnytsia", 2002. – 116 s.
5. Dzhedzhula O.M. Aktualni problemy hrafichnoi pidhotovky studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv / O. M. Dzhedzhula. – Vinnytsia : VTs VDAU, 2005. – 280 s.
6. Duhanets V.I. Vyrobynye navchannia fakhivtsiv ahrarno-inzhenernoho profiliiu : navch. posib. / V.I. Duhanets. – Kamianets-Podilskyi : FOP Sysyn O.V., 2013. – 336 s.
7. Duhanets V.I. Do pytannia naskriznoi samostiinoi praktychnoi roboty studentiv ahroinzhenernykh spetsialnostei / V.I. Duhanets, I.M. Bendera // *Nauka i metodyka : zb. nauk.-metod. pr.* – 2005. – Vyp. 4. – S. 31–33.
8. Pryshliak V. M. Role of project preparation in formation professional competence of future specialists in agroengineering / V. M. Pryshliak // *Trans Motauto World: International scientific journal*. – 2017. – Issue. 4. – P. 162–165.
9. Karpiuk I.Iu. Vychennia problemy formuvannia profesiinykh kompetentsii maibutnikh spetsialistiv u suchasni osviti / I.Iu. Karpiuk // *Visnyk NTUU “KPI”. Filosofiia. Psykholohiia. Pedahohika*. – 2010. – Vyp. 1. – S. 172–176.
10. Nychkalo N.H. Proektuvannia protsesu profesiinoho navchannia u zakladakh proftekhsosvity : monohrafiia / N. H. Nychkalo, I.A. Ziuziun, S.U. Honcharenko. – Kyiv – Khmelnytskyi : KhNU, 2010. – 335 s.

11. Kostiuk D.A. Struktura fakhovoi kompetentnosti maibutnikh inzheneriv enerhetykiv silskohospodarskoho vyrobnytstva / D.A. Kostiuk // *Novi tekhnolohii navchannia*. – 2011. – Vyp. 67, ch. 1. – S. 170–175.
12. Pryshliak V.M. Znakhodzhennia velychyny syly tysku na pidvodni hidrosporudy u proektno-konstruktorskii praktytisi y ahroinzhenerii pidhotovtsi fakhivtsiv / V.M. Pryshliak, V.M. Dubchak // *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. – 2020. – № 1 (108). – S. 111–122.
13. Hurevych R. S. Informatsiino-telekomunikatsiini tekhnolohii v navchalnomu protsesi ta naukovykh doslidzhenniakh : navch. pos. / R. S. Hurevych, M. Yu. Kademiiia. – Kyiv – Vinnytsia : TOV “Planer”, 2005. – 36 s.
14. Dzhezdzhula O.M. Osoblyvosti stvorennia universytetskykh osvitynykh informatsiinykh seredovyshch / O.M. Dzhezdzhula // *Profesiina pidhotovka fakhivtsia v konteksti potreb suchasnoho rynku pratsi : materialy II Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. (28 liutoho 2017 r.)*. – Vinnytsia : Vinnytskyi natsionalnyi ahraryni universytet, 2017. – S. 13–15.
15. Morze N.V. Metodyka navchannia informatyky : [navch. posib. : v 4 ch. Ch. II: Metodyka navchannia informatsiinykh tekhnolohii] / N.V. Morze, M.I. Zhaldak ; za red. akad. M.I. Zhaldaka. – Kyiv : Navchalna knyha, 2003. – 287 s.
16. Kurylo V.L. Mekhaniko-tekhnolohichni vlastyvyosti stebel yak peredumova do rozrobky robochykh orhaniv silskohospodarskykh mashyn i formuvannia proektnykh kompetentnosti ahroinzhenera / V.L. Kurylo, V.M. Pryshliak // *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. – 2019. – № 1 (104). – S. 20–27.
17. Solona O.V. Vykorystannia system viddalenoho administruvannia pry pidhotovtsi maibutnikh vypusknikiv inzhenernykh spetsialnosti / O. V. Solona, I.M. Kupchuk // *Profesiina pidhotovka fakhivtsia v konteksti potreb suchasnoho rynku pratsi : materialy II Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. (28 liutoho 2017 r.)*. – Vinnytsia : Vinnytskyi natsionalnyi ahraryni universytet, 2017. – S. 249–252.
18. Transformatsiia samostiinoi navchalnoi diialnosti u hotovnist do profesiinoho samorozvytku zasobamy tekhnolohii osobystisno oriantovanoho navchannia : monohrafiia / [M.M. Bondar, L.M. Zhuravska, Ye.O. Ostapenko, V.M. Pryshliak, A.H. Kutsenko]. – Nizhyn : TOV «Vydavnytstvo «Aspekt-Polihraf», 2016. – 760 s.
19. Motorna L. Obiektivni osnovy intehratsii zahalnoi ta spetsialno-tekhnichnoi osvity u VNZ I-II rivniv akredytatsii / L. Motorna // *Visnyk Cherkaskoho universytetu : nauk. zhurnal. Seriiia pedahohichna*. – 2008. – Vyp. 125. – S. 107–111.
20. Skype. Microsoft [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.microsoft.com/uk-ua>.
21. Funkcii Viber. Viber Media [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.viber.com/ru>.
22. Programmy. Ynternet. Set. Xetcom 1.91 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://xetcom.com/programs/internet/network>.
23. Viddalene administruvannia. Vikipediia. Vilna entsyklopediia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [https://uk.wikipedia.org/Viddalene\\_administruvannia](https://uk.wikipedia.org/Viddalene_administruvannia).
24. Ammy Admin v3.10 – Sistema udalennogo administrivaniya i distancionnogo obucheniya. Ammy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [https://www.ammy.com/ru/admin\\_features.html](https://www.ammy.com/ru/admin_features.html).

Рецензія/Peer review : 14.10.2020 р.

Надрукована/Printed : 03.11.2020 р.

А.П. САМІЛА, О.В. ГРЕСЬ, Т.А. КАЗЕМІРСЬКИЙ  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

## ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМНИХ РІШЕНЬ АМПЛІТУДНИХ ДЕМОДУЛЯТОРІВ АВТОДИННИХ СПІН-ДЕТЕКТОРІВ

У роботі описано застосування SPICE-моделювання для дослідження амплітудних демодуляторів автодинних спін-детекторів. Амплітудна демодуляція на нелінійному елементі досить поширена в методиці на основі неперервного спостереження ядерного квадрупольного резонансу. При цьому активний елемент є основою автогенераторного каскаду і часто поєднує в собі функції генерування, підсилення та детектування. Експериментально встановлено, що при амплітудній модуляції 40 % та зміні вхідної напруги в діапазоні 20–1000 мВ, схема симетричного спін-детектора з лінійним активним демодулятором забезпечує кращу лінійність передаточної характеристики ніж схеми асиметричних спін-детекторів з транзисторними чи діодними детекторами.

Ключові слова: ядерний квадрупольний резонанс, спін-детектор, амплітудна демодуляція, SPICE-моделювання.

A. SAMILA, O. HRES, T. KAZEMIRSKIY  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

### A STUDY OF SCHEME SOLUTIONS OF THE AMPLITUDE DEMODULATORS OF MARGINAL OSCILLATORS

There are continuous-wave and pulsed methods for monitoring NQR signals in the frequency range from ~ 2 to 1000 MHz. Although modern radio spectrometers use the pulsed method of recording resonant signals, the method of continuous-wave detection of spin resonances is still quite relevant in the technique of continuous spectroscopy, in particular, especially for NQR. In this case, the active element is the basis of the self-oscillating circuit and often combines the functions of generation, amplification, and detection. The paper describes the application of SPICE modelling for the study of amplitude demodulators of the marginal oscillators. Amplitude demodulation on a nonlinear element is quite common in the method based on continuous observation of nuclear quadrupole resonance. To synthesize the optimal version of the amplitude circuit Demodulators on the field-effect transistor and diode and study its characteristics, their SPICE modelling in the computer-aided design system Cadence OrCAD was carried out, the Linear active amplitude demodulator on the operational amplifier was considered. It is experimentally established that at amplitude modulation of 40% and change of input voltage in the range of 20 – 1000 mV, the scheme of the symmetric marginal oscillator with linear active demodulator provides better linearity of transfer characteristic than schemes of asymmetric marginal oscillators with transistor or diode detectors (the total harmonic distortion of the output voltage did not exceed 0.5 %).

Keywords: Nuclear quadrupole resonance, marginal oscillator, amplitude demodulation, SPICE modelling.

**Постановка проблеми.** Автодинні спін-детектори на польових транзисторах впродовж останніх десятиліть широко використовувалися науковцями під час спостереження методами неперервної спектроскопії сигналів ядерного магнітного резонансу (ЯМР), ядерного квадрупольного резонансу (ЯКР) і електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) [1–17]. Порівняно з іншими аналогічними пристроями, такі схеми характеризуються простотою, надійністю та високою чутливістю [3–7]. Не зважаючи на те, що принцип дії сучасних радіоспектрометрів базується на методах імпульсної Фур'є-спектроскопії, автодинні спін-детектори можуть ефективно використовуватись в ході розробки високочутливих та високоточних ЯКР-сенсорів фізичних величин (температура, тиск, магнітне поле та інше), які не потребують калібрування і періодичної перевірки. На відміну від імпульсної Фур'є-спектроскопії ЯКР, де зразок піддається впливу потужного радіочастотного випромінювання, в неперервній спектроскопії ЯКР використовується слабе радіочастотне випромінювання, що слабо впливає на параметри кристалічної ґратки досліджуваного зразка, а отже, уможливує суттєве збільшення точності ЯКР-сенсора [8–13]. Потенційне застосування таких сенсорів можливе в розподілених сенсорних мережах та пристроях фізичної ланки Internet of Things. Актуальним напрямом прикладного застосування автодинних спін-детекторів є також спінтроніка [18].

**Аналіз основних публікацій.** З аналізу наукових праць випливає, що найбільш відомі методики синтезу схемних рішень автодинних спін-детекторів ґрунтуються або на громіздких аналітичних розрахунках із застосуванням класичної теорії генерування сигналів та нелінійних систем, або на результатах численних експериментальних досліджень [14–16]. При цьому, у більшості випадків, підвищення чутливості досягається, в основному, за рахунок зниження власних шумів схеми і послаблення зовнішніх наведень [17].

**Метою роботи** є застосування SPICE-моделювання для дослідження амплітудних демодуляторів автодинних спін-детекторів.

#### Демодулятори на польовому транзисторі та діоді

Серед відомих схемних рішень автодинних спін-детекторів виділяються декілька основних, відмінність між якими полягає, головним чином, у способі введення зворотного зв'язку, необхідного для виникнення автоколивань [3–7, 14–17]. В даних пристроях для амплітудної демодуляції сигналу спаду вільної індукції (СВІ) застосовують перетворення на нелінійному елементі спін-детектора – транзисторі або напівпровідниковому діоді. В кожному конкретному випадку, при вдалій конструкції, ретельному виборі електронних компонент і режимів роботи генератора із самозбудженням, може бути досягнута досить висока чутливість детектування сигналів СВІ.

У роботах [3–5, 14–17] описано використання нелінійного перетворювача на польовому транзисторі (стоковий детектор) для амплітудної демодуляції. Такий демодулятор крім зазначених переваг має і недоліки. Це, перш за все, високий коефіцієнт нелінійних спотворень вихідного сигналу, а також необхідність постійного коректування положення робочої точки транзистора при зміні режиму роботи спін-детектора. Застосування амплітудного демодулятора на напівпровідниковому діоді для детектування сигналу ЯКР описано в роботі [3]. Завдяки застосуванню каскадного підсилювача високої частоти, даний діодний демодулятор працює в режимі сильного сигналу. Подібне рішення описане також і в роботі [6]. Введення додаткового каскаду підсилення забезпечує покращення лінійності передаточної характеристики демодулятора.

Для синтезу оптимального варіанту схеми амплітудного демодулятора та дослідження її характеристик проведено SPICE моделювання (рис. 1).

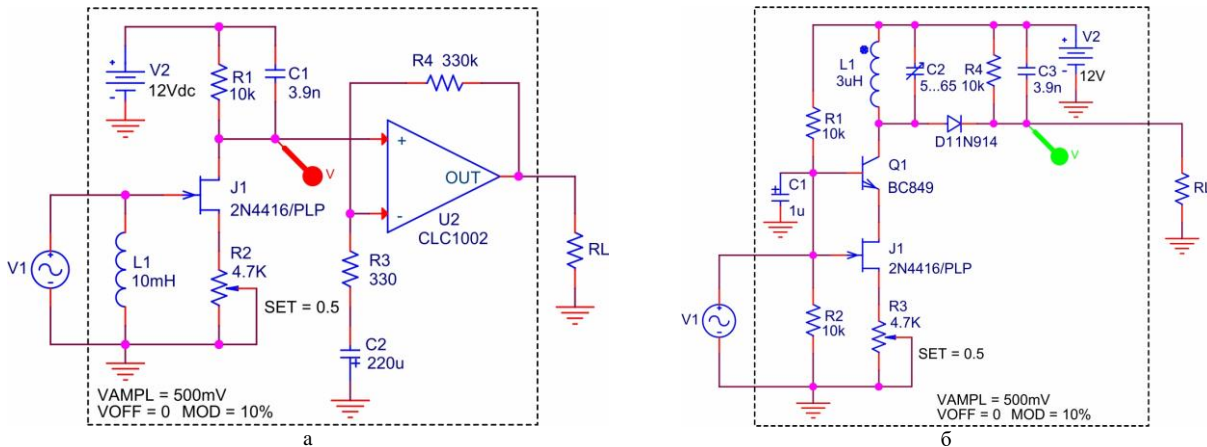


Рис. 1. SPICE моделі амплітудних демодуляторів: а – на польовому транзисторі, б – на діоді з підсилювачем

У типовому випадку струм стоку польового транзистора J1 визначається виразом [3, 4]:

$$I_D = \left( g_{fs0} U_{gs0} / 2 \right) \left( 1 - U_{gs} / U_{gs0} \right)^2, \tag{1}$$

де  $g_{fs0}$  і  $U_{gs0}$  – параметри транзистора, а  $U_{gs}$  – напруга між затвором і витоком.

Середнє значення цього струму за один період височастотного (ВЧ) коливання при напрузі на затворі  $E_0 + E \cos(\omega t)$  описується виразом

$$\langle I_D \rangle = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \frac{g_{fs0} U_{gs0}}{2} \left( 1 - \frac{E_0 + E \cos(\omega t)}{U_{gs0}} \right)^2 dt. \tag{2}$$

Чутливість демодулятора на польовому транзисторі пропорційна похідній:

$$\frac{d\langle I_D \rangle}{dE} \approx \frac{g_{fs0} E}{2U_{gs0}}. \tag{3}$$

SPICE моделювання проводилось в системі автоматизованого проектування Cadence OrCAD. На рис. 2 зображено амплітудні спектри вихідних сигналів демодуляторів на польовому транзисторі та на діоді.

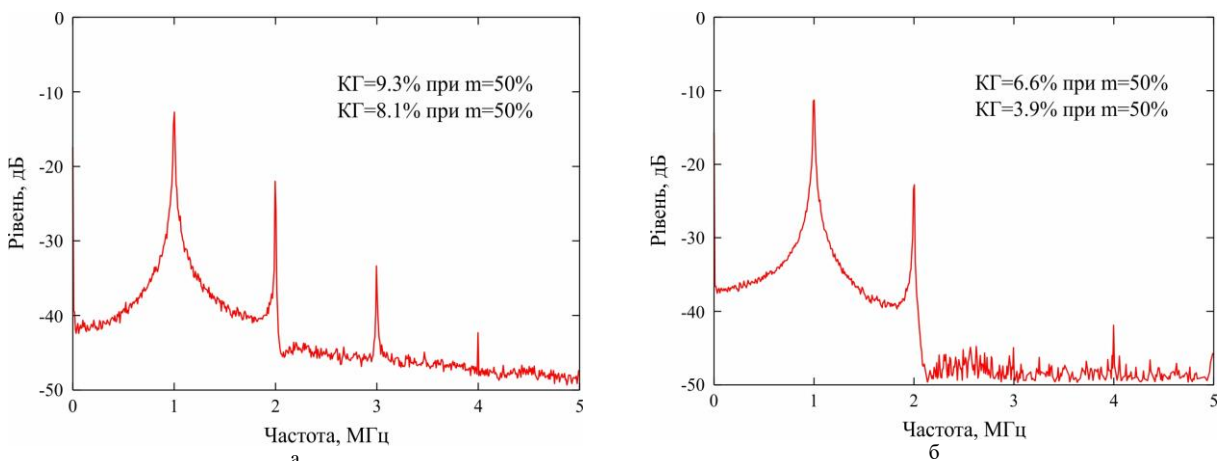


Рис. 2. Амплітудні спектри вихідних сигналів досліджуваних демодуляторів: а – на польовому транзисторі, б – на діоді



Як видно із одержаних результатів, в діапазоні вхідних напруг 0.1–2.2 В активний демодулятор на діоді забезпечує кращу лінійність передаточної характеристики ніж транзисторний демодулятор. Значення коефіцієнту гармонік (КГ) для обох схем при різних значеннях коефіцієнту амплітудної модуляції  $m$  наведені в таблиці 1. Результати SPICE моделювання показали, що для схеми, зображеної на рис. 1Б КГ менший на 33 % (при  $m = 10 \%$ ) порівняно із КГ для схеми, зображеної на рис. 1А.

Таблиця 1

КГ, %	Коефіцієнт амплітудної модуляції $m$ , %			
	10	20	30	50
Демодулятор на транзисторі	1,8	3,9	6,6	8,1
Демодулятор на діоді	1,2	2,6	3,3	3,9

**Лінійний активний амплітудний демодулятор на операційному підсилювачі**

Відомо, що активні амплітудні демодулятори мають низку переваг порівняно із пасивними, зокрема, володіють кращою лінійністю передаточної характеристики. З метою дослідження характеристик активного амплітудного демодулятора, розроблено його SPICE модель (рис. 3).

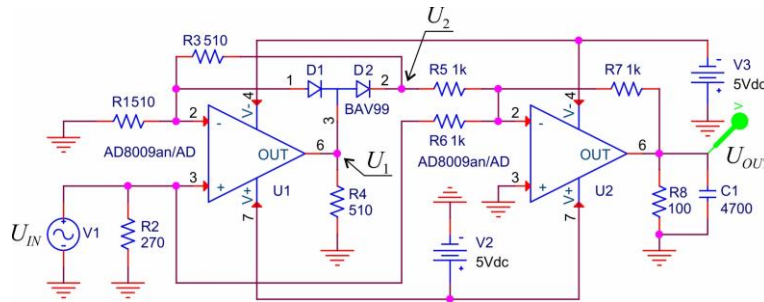


Рис. 3. SPICE модель лінійного активного амплітудного демодулятора

Схема містить однонапівперіодний випрямляч на операційному підсилювачі (ОП) U1 та суматор на ОП U2. При додатній полярності вхідної напруги U1 працює як інвертуючий підсилювач. В цьому випадку напруга U<sub>1</sub> від’ємна, тобто діод D1 відкритий, а D2 закритий, тому U<sub>2</sub> = -U<sub>IN</sub>. При від’ємній вхідній напрузі U<sub>2</sub> додатна, тобто діод D1 закритий, а D2 відкритий і замикає коло від’ємного зворотного зв’язку підсилювача U1 та запобігає його насиченню.

Оскільки діод D1 закритий, напруга U<sub>2</sub> також дорівнює нулю. Справедливі співвідношення:

$$U_1 = \begin{cases} -U_{IN} & \text{при } U_{IN} \geq 0, \\ 0 & \text{при } U_{IN} \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Підключення суматора на ОП U2 забезпечує двонапівперіодне випрямлення. Суматор формує напругу:

$$U_{OUT} = -(U_{IN} + 2U_1). \quad (5)$$

Враховуючи формулу (4) одержимо функцію двонапівперіодного випрямлення:

$$U_{OUT} = \begin{cases} U_{IN} & \text{при } U_{IN} \geq 0, \\ -U_{IN} & \text{при } U_{IN} \leq 0. \end{cases} \quad (6)$$

Увімкнення діода D2 у схему запобігає насиченню ОП і обмежує перепад його вихідної напруги при зміні полярності вхідного сигналу.

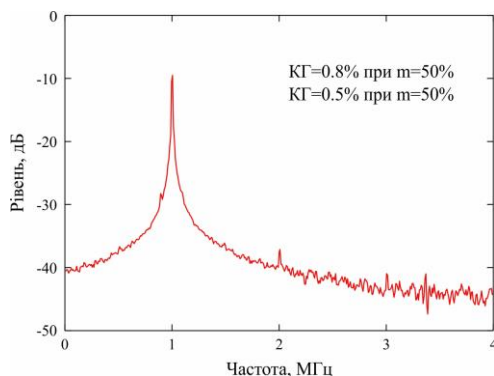


Рис. 4. Амплітудний спектр вихідного сигналу лінійного активного амплітудного демодулятора на ОП

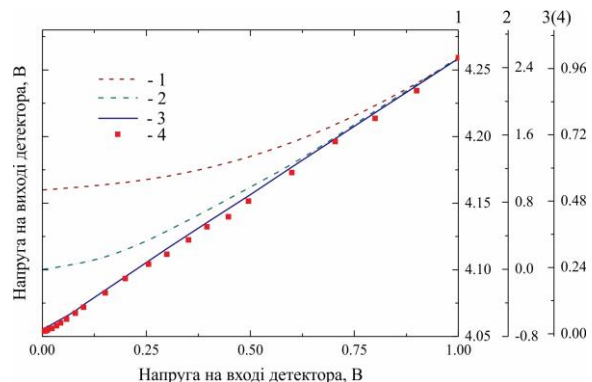


Рис. 5. Передаточні характеристики амплітудних демодуляторів: 1 – на польовому транзисторі, 2 – на діоді з підсилювачем, 3 – на ОП, 4 – експериментальне дослідження схеми 3

Результати SPICE моделювання показали, що остання схема забезпечує лінійну демодуляцію амплітудно-модульованих коливань в діапазоні вхідної напруги 20–1000 мВ, що краще порівняно із попередніми схемами. Амплітудний спектр сигналу на виході лінійного активного демодулятора на ОП зображений на рис. 4. Мінімальна величина детектованого сигналу (при несучій 20 МГц та частоті модуляції ~1 кГц), яка спостерігалась без значних спотворень склала 1,8 %. Результати моделювання підтвержені також результатами експериментальних досліджень (рис. 5).

### Апаратна реалізація каналу підсилення та детектування

ВЧ коливання з виходу автодинного спін-детектора поступають на вхід пристрою підсилення і детектування, схема якого зображена на рис. 6.

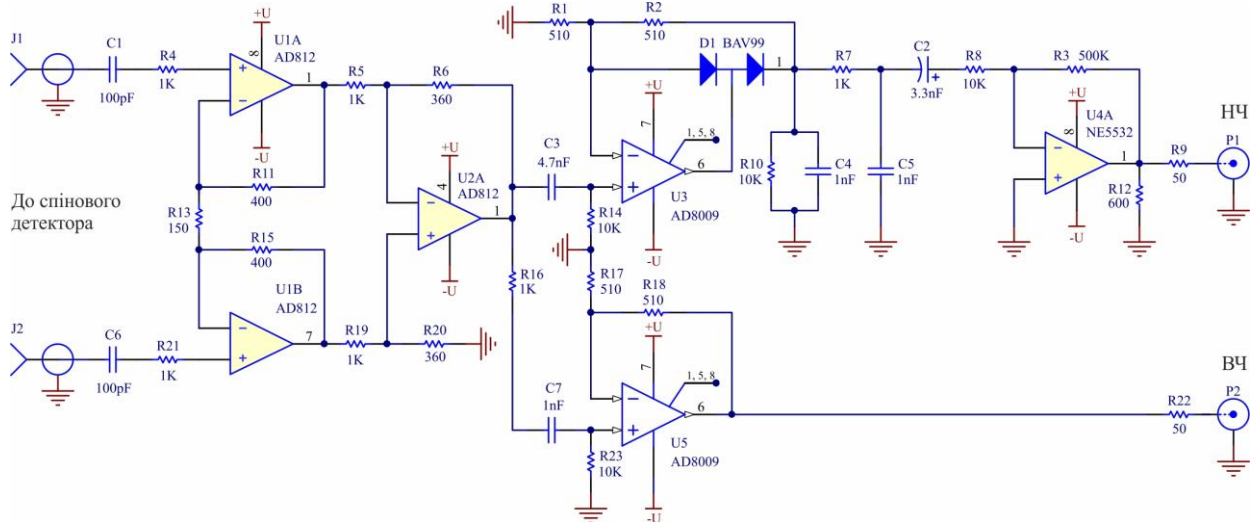


Рис. 6. Схема електрична принципова пристрою підсилення та детектування

Для забезпечення мінімального впливу на спін-детектор, вхідний каскад схеми, який виконує роль узгоджувального підсилювача ВЧ, виконаний на широкосмугових ОП AD812 (DA1 та DA2) з високим вхідним опором та малою паразитною ємністю. ОП включені за схемою вимірювального підсилювача, що забезпечує додаткове збільшення вхідного опору схеми і можливість підсилення диференціальних сигналів.

Розглянемо детальніше вхідне коло пристрою підсилення та детектування, принципова схема якого зображена на рис. 7. Перший каскад являється диференціальним підсилювачем побудованому на двох взаємозв'язаних неінвертуючих підсилювачах DA1.1, DA1.2. Вихідний каскад увімкнений за схемою диференційного інвертуючого підсилювача. Резистором  $R_{\text{підс}}$  встановлюється коефіцієнт підсилення за напругою першого каскаду, він загальний для обох неінвертуючих підсилювачів. В розрахунках приймаємо:  $R1 = R1^*$ ,  $R2 = R2^*$ ,  $R3 = R3^*$ .

Вихідна напруга кожного ОП першого каскаду складає:

$$U_{\text{вих1}} = U_{-\text{вх}} + \left(1 + \frac{R_1}{R_{\text{підс}}}\right) (U_{+\text{вх}} - U_{-\text{вх}}). \quad (7)$$

Напруга на неінвертуючому вході DA2 вихідного каскаду задається дільником на резисторах R2 і R3 і рівна:

$$U_{d+} = U_{\text{вих1}} \frac{R_3}{R_2 + R_3}. \quad (8)$$

Напруга на інвертуючому вході DA2, що задається дільником на резисторах R2 і R3:

$$U_{d-} = U_{\text{вих}} - (U_{\text{вих}} - U_{\text{вих1}}) \frac{R_3}{R_2 + R_3}. \quad (9)$$

Напруги (8) і (9) повинні бути приблизно рівні за рахунок оберненого зв'язку і власного нескінченно великого коефіцієнту підсилення ОП.

Звідки:

$$U_{\text{вих}} \frac{R_2}{R_3} = U_{\text{вих2}} - U_{\text{вих1}}. \quad (10)$$

Загальний коефіцієнт підсилення за напругою всієї схеми складає:

$$K_v = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{\text{підс}}}\right) \frac{R_3}{R_2}. \quad (11)$$

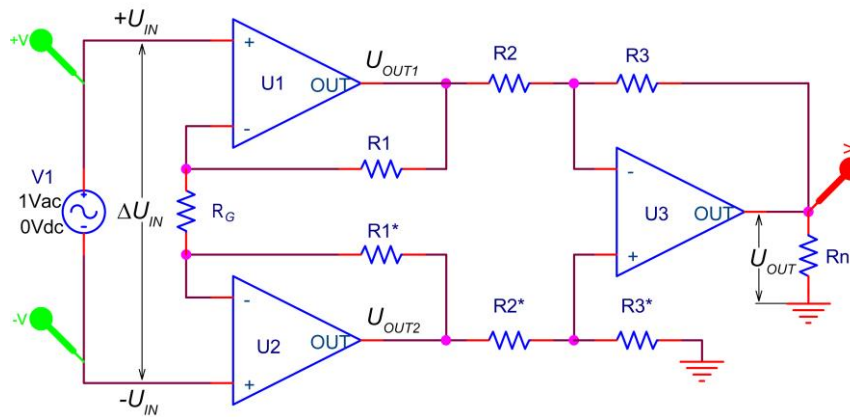


Рис. 7. Принципова схема широкосмугового вимірювального підсилювача на ОП

Виходячи із залежності (11), розраховано номінальні значення опорів  $R1$ ,  $R_{ПДС}$ ,  $R2$  та  $R3$  для забезпечення необхідного підсилення  $K_U = 2,5$  дБ при подачі ВЧ сигналу із симетричного спін-детектора.

Сімейство експериментальних амплітудних характеристик ВЧ тракту для частот 10 МГц, 30 МГц та 50 МГц зображено на рис. 8, а. Експериментальна передаточна характеристика амплітудного демодулятора на DA3 показана на рис. 8, б. Висока лінійність характеристик запропонованого пристрою підсилення та детектування уможливило зменшення спотворення форми резонансних ліній в робочому діапазоні частот, а рівномірність фазо-частотної характеристики спрощує підстроювання фази синхронного детектора. Загальний коефіцієнт підсилення схеми складає 53,2 дБ.

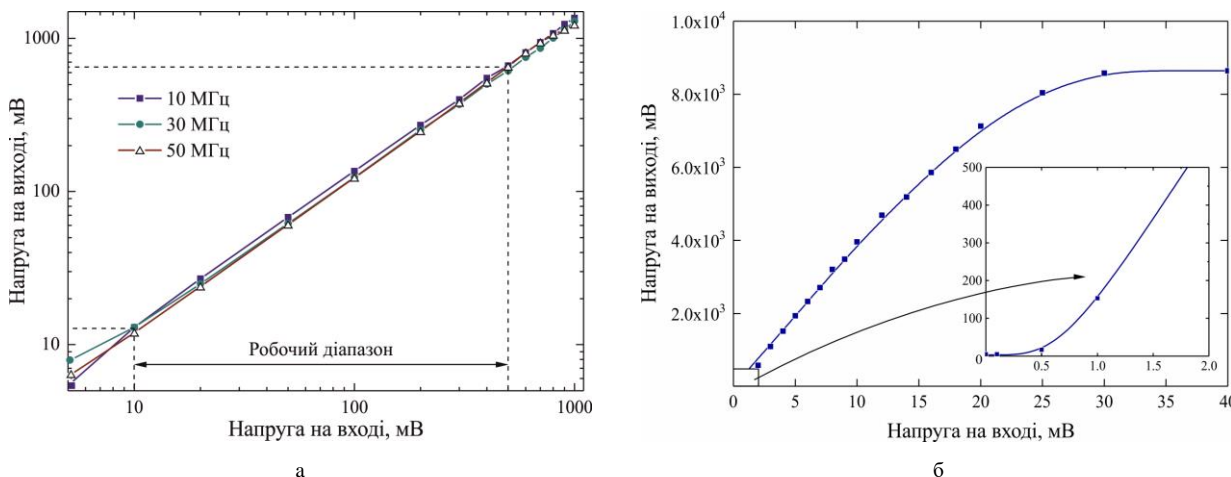


Рис. 8. Результати експериментальних досліджень модуля підсилення та детектування: а – сімейство амплітудних характеристик ВЧ тракту, б – передаточна характеристика амплітудного демодулятора

Для зв'язку з пристроями реєстрації ЯКР включено малошумний НЧ підсилювач на ОП NE5532. При смузі пропускання 20 Гц – 50 кГц його коефіцієнт підсилення по напрузі складає 100. Висока лінійність характеристик даного каскаду в робочому діапазоні частот зменшує спотворення форми резонансних ліній. Рівномірність фазо-частотної характеристики спрощує підстроювання фази синхронного детектора. Цифровий частотомір і вольтметр рівня ВЧ коливань підключаються через узгоджувальний широко-смуговий підсилювач на AD8009.

Схема пристрою підсилення та детектування сигналів ЯКР живиться від двополярного автономного джерела напругою  $\pm 12$  В. Конструктивно, пристрій реалізований у вигляді екранованого модуля ЯКР спектрометра, лабораторний макет друкованої плати виконаний за технологією SMD монтажу (рис. 9), що забезпечить кращу стабільність та завадостійкість при роботі у ВЧ діапазоні частот.

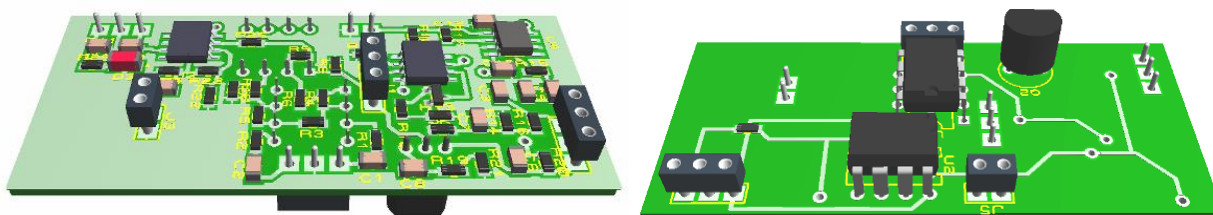


Рис. 9. Зовнішній вигляд розробленого блоку підсилення та детектування неперервного спектрометра ЯКР

### Висновки

Існують стаціонарні та імпульсні методи спостереження сигналів ЯКР в області частот від  $\sim 2$  до 1000 МГц. Не зважаючи на те, що в сучасних радіоспектрометрах застосовується імпульсна методика реєстрації резонансних сигналів, метод автодинного детектування спінових резонансів ще досить актуальний у техніці неперервної спектроскопії, зокрема, особливо щодо ЯКР. При цьому, активний елемент є основою автогенераторного каскаду і часто поєднує в собі функції генерування, підсилення та детектування.

У цій роботі представлено результати дослідження SPICE-моделей відомих схемних рішень амплітудних демодуляторів спин-детекторів неперервних спектрометрів ЯКР. Розроблено схему лінійного активного демодулятора для симетричного спин-детектора. Встановлено, що при амплітудній модуляції 40 % та зміні вхідної напруги в діапазоні 20–1000 мВ схема лінійного активного демодулятора на операційному підсилювачі забезпечує кращу лінійність передаточної характеристики (КГ напруги на виході не перевищував 0.5 %) ніж демодулятори на транзисторі та діоді.

### Література

1. House L., Hill J. Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry. 2nd edition. Editor-in-Chief John C. Lindon. Academic Press is an imprint of Elsevier. OX2 8DP. OX2 8DP, 2010. 3312 p.
2. Suits B.H. Nuclear quadrupole resonance spectroscopy. In: Vij D. (eds). Handbook of Applied Solid State Spectroscopy. Springer. Boston, MA. P. 65–96.
3. Probst P. A., Collet B., MacInnes W. M. Marginal oscillator optimized for radiofrequency size effect measurements. *Review of Scientific Instruments*. 1976. Vol. 47. P.1522–1526.
4. Cho Sh., Choh S. H. A Nuclear Quadrupole Resonance Spectrometer from 2 to  $\sim 50$  MHz. *Journal of the Korean Physical Society*. 1988. Vol. 21, No 4. P. 399–404.
5. Stoican O. S. NQR detection setup. *Romanian Journal of Physics*. 2006. Vol. 51. No. 1, P. 311–315.
6. Makarov B., Ryzhov V. Advance of marginal oscillator. *RuPAC-2010* : Proceedings of 22nd Russian particle accelerator conference. Protvino, September 27–october 01 2010. Moscow, 2010. P. 122–124.
7. Ivanchuk M., Brajlovskij V. Automated Nuclear Quadrupole Resonance Spectrometer. *Advances in Electrical and Computer Engineering*. 2008. Volume 8. No 2. P. 29–31.
8. Hotra O. Z., Samila A. P., Rozorinov G. M., Hres O.V. Current status and development prospects of nuclear quadrupole resonance pulsed spectroscopy methods: A review. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. Vol. 78, No 16. P. 1483–1496.
9. Samila A. P., Lastivka G. I., Tanasyuk Yu. V. Actual problems of computer parametric identification of the NMR and NQR spectra: A review. *J. Nano- Electron. Phys.* 2019. Vol. 11, No 5. P. 05036-1–10.
10. Doll A. Pulsed and continuous-wave magnetic resonance spectroscopy using a low-cost software-defined radio. *AIP Advances*. 2019. Vol.9, Issue 11. P. 115110–1–13.
11. Newton M., Breeds E., Morris R. Advances in Electronics Prompt a Fresh Look at Continuous Wave (CW) Nuclear Magnetic Resonance (NMR). *Electronics*. 2017. Vol. 6, No 4. P. 89–121.
12. Gauzzi A., Le Cochec J., Lamura G., Jonsson B. J., Gasparov V. A., Ladan F. R., Placais B., Probst P. A., Pavuna D., Bok J. Very high resolution measurement of the penetration depth of superconductors by a novel single-coil inductance technique. *Review of scientific instruments*. 2000. Vol. 71, No. 5. P. 2147–2153.
13. Hall S. A., Pusateri M.A., Schiano J.L. Labview based frequency counter and voltmeter for a continuous-wave quadrupole resonance spectrometer. *Annual Research Journal*. 2005. Vol. III. P. 187–196.
14. Браїловський В. В. Спін-детектор ЯКР термометра / В. В. Браїловський, А. П. Саміла, О. Г. Хандожко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – 2009. – № 1. – С. 43–46.
15. Браїловський В. В. Датчик сигналів ядерного квадрупольного резонанса / В. В. Браїловський, А. П. Саміла, О. Г. Хандожко // Прибори и техника эксперимента. – 2010. – № 2. – С. 177.
16. Браїловський В. В. Автодинний давач сигналів ЯКР та ЯМР / В. В. Браїловський, А. П. Саміла, О. Г. Хандожко // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. – 2010. – № 1. – С. 20–24.
17. Политанский Л. Ф. Анализ шумовых характеристик автодинного спин-детектора / Л. Ф. Политанский, А. П. Саміла, В. А. Хандожко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2012. – № 68. – С. 104–110.
18. Furman G. B., Goren S. D. Pure NQR Quantum Computing. *Z. Naturforsch.* 2002. Vol. 57a. P. 315–319.

### References

1. House L., Hill J. Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry. 2nd edition. Editor-in-Chief John C. Lindon. Academic Press is an imprint of Elsevier. OX2 8DP. OX2 8DP, 2010. 3312 p.
2. Suits B.H. Nuclear quadrupole resonance spectroscopy. In: Vij D. (eds). Handbook of Applied Solid State Spectroscopy. Springer. Boston, MA. P. 65–96.
3. Probst P. A., Collet B., MacInnes W. M. Marginal oscillator optimized for radiofrequency size effect measurements. *Review of Scientific Instruments*. 1976. Vol. 47. P.1522–1526.
4. Cho Sh., Choh S. H. A Nuclear Quadrupole Resonance Spectrometer from 2 to  $\sim 50$  MHz. *Journal of the Korean Physical Society*. 1988. Vol. 21, No 4. P. 399–404.
5. Stoican O. S. NQR detection setup. *Romanian Journal of Physics*. 2006. Vol. 51. No. 1, P. 311–315.
6. Makarov B., Ryzhov V. Advance of marginal oscillator. *RuPAC-2010* : Proceedings of 22nd Russian particle accelerator conference. Protvino, September 27–october 01 2010. Moscow, 2010. P. 122–124.

7. Ivanchuk M., Brajlowskyj V. Automated Nuclear Quadruple Resonance Spectrometer. *Advances in Electrical and Computer Engineering*. 2008. Volume 8, No 2. P. 29–31.
8. Hotra O. Z., Samila A. P., Rozorinov G. M., Hres O.V. Current status and development prospects of nuclear quadrupole resonance pulsed spectroscopy methods: A review. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. Vol. 78, No 16. P. 1483–1496.
9. Samila A. P., Lastivka G. I., Tanasyuk Yu. V. Actual problems of computer parametric identification of the NMR and NQR spectra: A review. *J. Nano- Electron. Phys.* 2019. Vol. 11, No 5. P. 05036-1–10.
10. Doll A. Pulsed and continuous-wave magnetic resonance spectroscopy using a low-cost software-defined radio. *AIP Advances*. 2019. Vol.9, Issue 11. P. 115110–1-13.
11. Newton M., Breeds E., Morris R. Advances in Electronics Prompt a Fresh Look at Continuous Wave (CW) Nuclear Magnetic Resonance (NMR). *Electronics*. 2017. Vol. 6, No 4. P. 89–121.
12. Gauzzi A., Le Cohec J., Lamura G., Jonsson B. J., Gasparov V. A., Ladan F. R., Placais B., Probst P. A., Pavuna D., Bok J. Very high resolution measurement of the penetration depth of superconductors by a novel single-coil inductance technique. *Review of scientific instruments*. 2000. Vol. 71, No. 5. P. 2147–2153.
13. Hall S. A., Pusateri M.A., Schiano J.L. Labview based frequency counter and voltmeter for a continuous-wave quadrupole resonance spectrometer. *Annual Research Journal*. 2005. Vol. III. P. 187–196.
14. Brailovskiy V. V. Spin-detektor YaKR termometra / V. V. Brailovskiy, A. P. Samila, O. H. Khandozhko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichniy zhurnal. – 2009. – № 1. – S. 43–46.
15. Braylovskiy V. V. Datchyk syhnalov yadernoho kvadrupolnoho rezonansa / V. V. Braylovskiy, A. P. Samyla, O. H. Khandozhko // Pribory y tekhnika eksperymenta. – 2010. – № 2. – S. 177.
16. Brailovskiy V. V. Avtodynniy davach syhnaliv YaKR ta YaMR / V. V. Brailovskiy, A. P. Samila, O. H. Khandozhko // Sensorna elektronika i mikrosistemni tekhnolohii. – 2010. – № 1. – S. 20–24.
17. Politanskij L. F. Analiz shumovoyh karakteristik avtodinnogo spin-detektora / L. F. Politanskij, A. P. Samila, V. A. Handozhko // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – 2012. – № 68. – S. 104–110.
18. Furman G. B., Goren S. D. Pure NQR Quantum Computing. *Z. Naturforsch.* 2002. Vol. 57a. P. 315–319.

Рецензія/Peer review : 15.09.2020 р.

Надрукована/Printed :02.11.2020 р.

Т.В. СІЧКО, І.І. РИБАК

Донецький національний університет імені Василя Стуса

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СТРУКТУР

*У роботі розглянуто застосування топологічного аналізу під час оцінки оптимальності змодельованої організаційної структури управління факультетом вищого навчального закладу. Пропонується топологічний аналіз взяти за основу при прийнятті рішень щодо удосконалення належної організації навчального процесу, наукової діяльності, а також профорієнтаційної роботи та інформаційної діяльності. Топологічний аналіз дозволяє кількісно оцінити існуючу організаційну структуру, на основі чого провести її оптимізацію.*

*Ключові слова: топологічний аналіз, організаційна структура, моделювання, оптимізація.*

T.V. SICHKO, I.I. RYBAK  
Vasyl Stus Donetsk National University

## SYSTEMIC APPROACH TO THE ANALYSIS OF ORGANIZATIONAL STRUCTURES

*The paper considers the application of topological analysis in assessing the optimality of the simulated organizational management structure of the faculty of higher education. It is proposed to take topological analysis as a basis for decision-making to improve the proper organization of the educational process, research, as well as career guidance and information activities. Topological analysis allows you to quantify the existing organizational structure on the basis of which to optimize it. The analysis of existing organizational structures of modern higher educational establishments is carried out. It is found that problems that study the topological properties of organizational structures can be solved using graph theory. The general management structure of the faculty of the higher educational institution is given. The purpose of topological analysis, its features and advantages are determined. For topological analysis, the organizational structure is shown in the form of a graph. It is proposed to consider the main structural indicators of the system, which allow to quantify the quality of the structure of the system and its elements from the standpoint of the system-wide approach and graph theory. Indicators of connectivity, redundancy, uniformity of distribution of connections, compactness, degree of centralization are considered. The detailed analysis of each calculated indicator from the point of view of information interaction between divisions of the considered organizational structure is carried out. The values of indicators that are beyond the optimality are revealed. It is concluded that it is impossible to obtain an ideal structure that would have optimal values of all structural and topological indicators. The prospect of further research is indicated, which consists in the development of a model of generalized structure estimation according to all criteria and taking into account non-structural information due to the introduction of numerical functions on graphs.*

*Keywords: topological analysis, organizational structure, modelling, optimization.*

### Постановка проблеми

Однією з основних умов успішного функціонування будь-якої організації є відповідність її організаційної структури управління цілям і задачам, які поставлені перед нею. Структура є своєрідним каркасом, навколо якого будуються всі складові підприємства. Керувати структурою, стежити за тим, щоб вона була адекватною до стратегії – складне завдання. Сучасні теоретики менеджменту високо оцінюють значимість організаційних структур і їхній вплив на ефективність діяльності організації, оскільки устрій завжди був одним із головних пріоритетів управління [1]. Формування оптимальної організаційної структури – це той етап в управлінні, через який проходить будь-яке підприємство і саме від нього залежить, на скільки ефективно буде воно функціонувати.

Сучасні вищі навчальні заклади (ВНЗ) характеризуються багаторівневою структурою управління, нерівномірністю розподілу управлінського інформаційного навантаження, різноманіттям прийняття рішень.

Аналіз існуючих організаційних структур сучасних ВНЗ та ряду публікацій, зокрема [2, 3], вказують на наступне. Організаційні структури сучасних ВНЗ є лінійно-функціональними, що характеризуються, з одного боку, строгою ієрархічністю, з іншого – структури суттєво відрізняються за числом підрозділів, що, в свою чергу, призводить до нерівномірності розподілу управлінського інформаційного навантаження.

Для аналізу таких структур з метою отримання оцінки їх функціонального стану пропонується застосовуватися методи графової формалізації структури, методи декомпозиції. В роботі пропонується використовувати топологічний підхід. Топологічний аналіз є тим неklasичним методом розв'язання актуальних задач моделювання систем, який дає змогу побачити проблеми та дефекти з математичної точки зору та знайти шляхи їх усунення [4]. Топологічний аналіз дозволяє кількісно оцінити існуючу організаційну структуру на основі чого провести її оптимізацію.

На сьогодні практичне використання топологічного аналізу структур не надто поширене, проте слід зауважити, що він вирішує проблеми, які мають відношення до оптимізації управлінської й господарської діяльності в цілому, що є досить актуальними. За допомогою здійснення такого аналізу можна вирішити ряд питань: покращення зв'язності системи; усунення надлишкових ланок, якщо вони присутні; зробити систему ефективнішою та гнучкішою тощо. Все це необхідне для існування будь-якої системи.

### Аналіз останніх джерел

Вагомий внесок в розробку проблеми проектування та розвитку організаційних структур управління внесли такі закордонні вчені П. Друкер, І. Ансофф, А. Гарднер, М. Вебер, Д. Гібсон, Т. Коно, Р. Холл, А. Хоскінс та інші. Вони досліджували взаємодію процесів проектування та практичного перетворення

організаційних структур, розкрили зв'язок стратегії підприємства з його організаційною структурою, систематизували фактори, що обумовлюють її тощо. Аналіз сучасних методів визначення структури та топології висвітлено у багатьох українських виданнях, авторами яких є Подчасова, Т.П., Сергеева, Л.Н., Бондар Н.М.

Проведені дослідження вказують на те, що досить багато чинних організаційних структур управління мають нераціональну будову, порушення зворотних зв'язків від підлеглих до керівників, характеризуються дублюванням функцій структурних підрозділів і окремих посадових осіб. Аналіз останніх джерел дозволяє стверджувати, що проблема полягає в недостатній розвиненості науково обгрунтованого методико-прикладного інструментарію щодо формування і використання організаційних структур управління підприємствами [5, 9].

Метою дослідження є застосування топологічного аналізу при оцінці оптимальності змодельованої організаційної структури управління факультетом ВНЗ, на основі якого приймаються рішення щодо удосконалення належної організації навчального процесу, наукової діяльності, а також профорієнтаційної роботи та інформаційної діяльності.

### Виклад основного матеріалу

Мета топологічного аналізу – відображення можливостей структури для реалізації функцій, виходячи з наявних елементів та відношень між ними, не вникаючи у їх змістовний опис [4]. Наведемо загальну структуру управління факультетом, яка організована за лінійно-функціональним принципом (рис. 1).

Існує група показників топологічних властивостей організаційних структур, які визначають їх оптимальність, а саме [6]:

- керованість організаційної структури, яка може бути оцінена наступними показниками: інформаційним навантаженням елементів структури та неоднорідністю інформаційного навантаження;
- компактність організаційної структури (діаметр і радіус графа, висота та збалансованість дерева);
- стійкість організаційної структури (число зовнішньої стійкості, число внутрішньої стійкості).

В науковій літературі виділяють різні методи та моделі формування структур управління підприємства.

Розглянемо основні структурні показники системи, які дозволяють оцінити кількісно якість структури системи та її елементів з позицій загальносистемного підходу та теорії графів, а саме: зв'язності, надлишковості, рівномірності розподілу зв'язків, компактності, ступеню централізації.

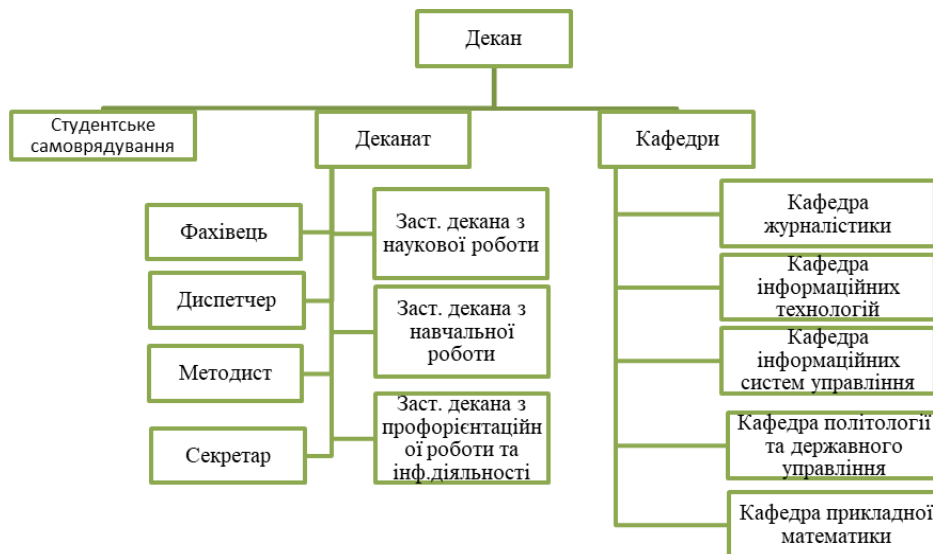


Рис. 1. Організаційна структура факультету інформаційних і прикладних технологій

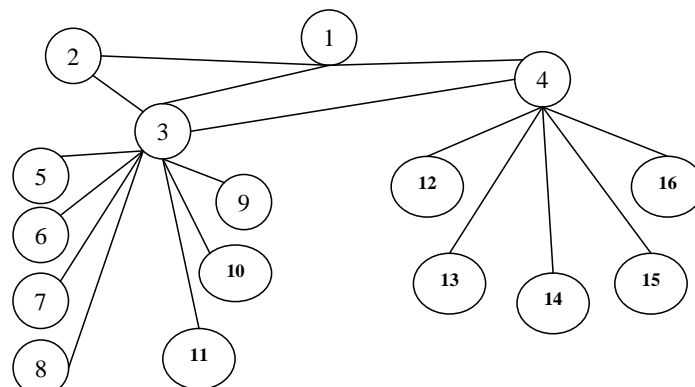


Рис. 2. Дерево графа системи управління факультетом

Показник зв'язності структури дозволяє виявити наявність ізольованих вершин, тобто обривів. В нашому випадку ми оцінюємо інформаційну зв'язність структури, тобто здатність здійснювати гарантований обмін інформацією між будь-якою парою вершин. Розраховується за формулою:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^k \geq n - 1, \quad i \neq j \quad (1)$$

У співвідношенні (1)  $a_{ij}^k$  – елемент матриці суміжності вершин. Права частина (1) визначає необхідну мінімальну кількість зв'язків у структурі неорієнтованого графа, що містить  $n$  вершин. Коефіцієнт 0,5 береться в силу того, що один і той же зв'язок враховується двічі. Очевидно, що для незв'язної структури ця характеристика не має смислу. Для розрахунку, відповідно до побудованого графа, прийmemo:  $n$  (вершини) = 16;  $m$  (ребра) = 17.

Для розв'язання необхідно будувати матрицю суміжностей вершин.  
Розрахований показник зв'язності даної структури:

$$S = 17 \geq 15.$$

Отже, існуюча організаційна структура здатна здійснювати гарантований інформаційний обмін між підрозділами факультету.

Показник структурної надмірності показує перевищення загального числа зв'язків над мінімально необхідним. Показник оцінює міру надмірності структури по зв'язках. Визначається наступним чином:

$$R = \frac{m}{n-1} - 1 \quad (2)$$

Для системи з мінімальною надмірністю  $R=0$ ; для незв'язних систем  $R$  може бути негативним; система з великим  $R$  потенційно більш надійна. Дана характеристика використовується для непрямой оцінки економічності і надійності досліджуваних систем. У випадку розглядуваної структури факультету цей показник характеризує гарантований інформаційний обмін між підрозділами. Відповідно до нашої системи:

$$R = 0,13$$

Проведені розрахунки вказують на те, що досліджувана структура має надмірність, але не високу, а отже, не потребує оптимізації з точки зору даного показника.

Показник рівномірності розподілу зв'язків у структурі неорієнтованого графа, що має  $m$  ребер і  $n$  вершин і вказує на недовикористання можливостей заданої структури в досягненні максимальної зв'язності. Визначається за формулою:

$$\epsilon^2 = \sum_{i=1}^n \rho_i^2 - \frac{4m^2}{n} \quad (3)$$

де  $\epsilon^2$  – квадратичне відхилення заданого розподілу вершин від рівномірного розподілу;

$\rho_i$  – степiнь вершини  $i$ ;

$m$  – число дуг;

$n$  – число вершин системи управління.

Визначимо рівномірність розподілу зв'язків нашого графа:

$$p = 174;$$

$$\epsilon^2 = 101,75$$

Проведені розрахунки вказують на те, що структура має нерівномірно розподілені зв'язки, що вказує на інформаційне перевантаження керівників вищої ланки.

Показник структурної компактності вказує на близькість елементів між собою з точки зору, наприклад обміну інформацією між елементами:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (4)$$

де  $d_{ij}$  – мінімальна довжина ланцюга між вершинами  $i, j$ . Тобто сума всіх мінімальних шляхів (ланцюгів) становить структурну компактність системи. В нашому випадку  $Q = 526$ .

Часто структурна компактність характеризується відносним показником:

$$Q_{\text{відн.}} = \frac{Q}{n(n-1)} - 1$$

За умови максимально можливої структурної компактності  $Q_{\text{відн.}} = 0$ .

Стосовно нашої структури:

$$Q_{\text{відн.}} = 1,192$$

Досліджувана структура некомпактна, оскільки показник вищий за нормативний, тобто структура досить інерційна з точки зору інформаційної взаємодії між підрозділами факультету.

Відомо, що чим компактніша структура, тим легше центру керувати нею. Тому вводиться новий параметр  $G$ , який зростає з ростом компактності.

Розглянемо показник, що характеризує ступiнь централізації структури.



Введемо поняття індексу центральності, визначивши за формулою:

$$G = (n - 1)(2 * Z_{max} - n) * \frac{1}{Z_{max}(n-2)}; \quad (5)$$

де  $Z_{max}$  – ступінь централізації, який визначається за формулою:

$$Z_{max} = \max_i \left[ \frac{Q}{2} \cdot \left( \sum_{j=1}^n d_{i,j} \right)^{-1} \right]. \quad (6)$$

Індекс центральності змінюється в діапазоні від 0 до 1.

Для структур з максимальним ступенем централізації (радіальна)  $G=1$ , для структур з рівномірним розподілом зв'язків (кільцева і повний граф)  $G=0$ . Нуль відповідає абсолютно децентралізованій системі.

Отже, ступінь централізації в структурі заданої системи:

$$Z_{max} = 12,275 \\ G = 0,839$$

Структура має високий ступінь централізації, оскільки показник наближується до 1, що вказує на негнучкість системи та залежність від прийняття рішень безпосередньо найвищим керівництвом.

### Висновки

За результатами розрахованих структурно-топологічних показників приходимо до висновку, що неможливо отримати «ідеальну» структуру системи, коли усі структурно-топологічні показники мають оптимальні значення. Тому, зазвичай, розставляють пріоритети серед структурно-топологічних показників згідно із технологічними, технічними, функціональними та іншими вимогами. Далі з усіх можливих структур системи обирають структури із оптимальним значенням структурно-топологічного показника, який має найвищий пріоритет. Потім із обраних варіантів обирають структури системи із мінімальним значенням структурно-топологічного показника з другим пріоритетом і т. ін.

Розглянутий підхід до аналізу організаційних структур дозволяє сформулювати безліч допустимих по оптимальності ієрархій. Це пов'язано з тим, що отримані локальні оцінки за рядом критеріїв, характеризують різні аспекти досліджуваних структур. Тому перспектива подальших досліджень полягає в розробці моделі, яка дозволить отримати узагальнену оцінку ієрархій за всіма критеріями.

Розглянуті вище структурні характеристики були отримані тільки на основі інформації про склад елементів та їхні зв'язки. Подальший розвиток методології структурних параметрів для розв'язання задач структурного аналізу може бути оснований на врахуванні неструктурної інформації за рахунок введення числових функцій на графах. Це дозволяє, поряд зі складом елементів і спрямованістю їх взаємодії, враховувати під час розв'язання задач інші сторони їх функціонування (часові, надійнісні, вартісні і т. ін.).

### Література

1. Моделювання організаційних структур управління [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://tourlib.net/books\\_ukr/nechauk31.htm](https://tourlib.net/books_ukr/nechauk31.htm)
2. Шарата Н. До питання організаційної структури управління інноваційно-педагогічною діяльністю у ВНЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://library.udpu.org.ua/library\\_files/zbirnik\\_nayk\\_praz/2015/2/52.pdf](http://library.udpu.org.ua/library_files/zbirnik_nayk_praz/2015/2/52.pdf)
3. Виноградня В.М. Організаційно-економічні аспекти управління вищими навчальними закладами України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis\\_64/Npdfi\\_2010\\_1\\_13.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis_64/Npdfi_2010_1_13.pdf)
4. Січко Т.В. Прикладні аспекти розрахунку структурно-топологічних характеристик систем / Т. В. Січко, К.В. Смоктей, А.О. Ткачук // Системи та технології. – 2019. – № 1 (57). – С. 141–153.
5. Вільгуцька Р.Б. Моделювання організаційних структур управління підприємств / Р.Б. Вільгуцька // Бізнес інформ – 2014. – № 5. – Режим доступу : [http://www.business-inform.net/pdf/2014/5\\_0/titul.pdf](http://www.business-inform.net/pdf/2014/5_0/titul.pdf).
6. Коваленко І.І. Системний аналіз складних організаційних структур управління підприємствами / І.І. Коваленко, Е.С. Пугаченко, Л.С. Чернова, Е.А. Антипова // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 22. – С. 61–68.
7. Подчасова Т.П. Організаційно-функціональні аспекти створення віртуального підприємства [Електронний ресурс] / Т.П. Подчасова // Екон.-мат. моделювання соц.-екон. систем. – 2008. – Вип. 13. – С. 5–16. – Режим доступу : <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/11453>
8. Сергеева Л.Н. Моделювання структури життєздатних соціально-економічних систем : монографія / Л.Н. Сергеева, А.В. Бакурова, В.В. Воронцов, С.О. Зульфугарова. – Запоріжжя : КПУ, 2009. – 200 с. – [Сер. Життєздатні системи в економіці = Жизнеспособные системы в экономике].
9. Січко Т.В. Моделі і методи автоматизованої системи управління регіонального університетського центру / Т.В. Січко, В.М. Михайленко. – Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. – 183 с.

## References

1. Modeliuvannia orhanizatsiinykh struktur upravlinnia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://tourlib.net/books/ukr/nechauk31.htm>
2. Sharata N. Do pytannia orhanizatsiinoi struktury upravlinnia innovatsiino-pedahohichnoiu diialnistiu u VNZ [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [http://library.udpu.org.ua/library\\_files/zbirnuk\\_nayk\\_praz/2015/2/52.pdf](http://library.udpu.org.ua/library_files/zbirnuk_nayk_praz/2015/2/52.pdf)
3. Vynohradnia V.M. Orhanizatsiino-ekonomichni aspekty upravlinnia vyshchymy navchalnymy zakladamy Ukrainy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis\\_64/Npndfi\\_2010\\_1\\_13.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis_64/Npndfi_2010_1_13.pdf)
4. Sichko T.V. Prykladni aspekty rozrakhunku strukturno-topolohichnykh kharakterystyk system / T. V. Sichko, K.V. Smoktii, A.O. Tkachuk // Systemy ta tekhnolohii. – 2019. – № 1 (57). – S. 141–153.
5. Vilhutska R.B. Modeliuvannia orhanizatsiinykh struktur upravlinnia pidpriemstv / R.B. Vilhutska // Biznes inform – 2014. – № 5. – Rezhym dostupu : [http://www.business-inform.net/pdf/2014/5\\_0/titul.pdf](http://www.business-inform.net/pdf/2014/5_0/titul.pdf).
6. Kovalenko I.I. Sistemnyj analiz slozhnykh organizacionnykh struktur upravleniya predpriyatiyami / I.I. Kovalenko, E.S. Pugachenko, L.S. Chernova, E.A. Antipova // Upravlinnya rozvitkom skladnih sistem. – 2015. – № 22. – S. 61–68.
7. Podchasova T.P. Orhanizatsiino-funktsionalni aspekty stvorennia virtualnoho pidpriemstva [Elektronnyi resurs] / T.P. Podchasova // Ekon.-mat. modeliuvannia sots.-ekon. system. – 2008. – Vyp. 13. – S. 5–16. – Rezhym dostupu : <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/11453>
8. Serhieieva L.N. Modeliuvannia struktury zhyttiezdatsnykh sotsialno-ekonomichnykh system : monohrafiia / L.N. Serhieieva, A.V. Bakurova, V.V. Vorontsov, S.O. Zulfuharova. – Zaporizhzhia : KPU, 2009. – 200 s. – [Ser. Zhyttiezdatsni systemy v ekonomitsi = Zhyznesposobnye systemy v ekonomyke].
9. Sichko T.V. Modeli i metody avtomatyzovanoi systemy upravlinnia rehionalnoho universytetskoho tsentru / T.V. Sichko, V.M. Mikhailenko. – Vinnytsia : PP «TD «Edelweis i K», 2014. – 183 s.

Рецензія/Peer review : 13.09.2020 р.

Надрукована/Printed :02.11.2020 р.

## АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НАВЧАННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ З ПИТАНЬ ОХОРОНИ ПРАЦІ

У роботі розглядаються особливості програмного забезпечення, яке містить функціональну можливість проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці. На основі даних Державної служби статистики України встановлено, що використання інформаційно-комп'ютерних технологій щорічно зростає на підприємствах незалежно від галузі їх виробничої діяльності, тим самим доведено актуальність роботи. Крім того, виокремлено переваги використання таких технологій у навчанні на основі даних педагогічного експерименту Дмитрієвої. Проаналізовано властивості чотирьох основних програмних комплексів, доступних для придбання підприємствами різних галузей, а саме Автоекзаменатор «Охорона праці», Автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці, Електронне робоче місце інженера з охорони праці та Організатор. Виокремлено переваги та недоліки кожного із зазначених програмних продуктів. Підбір оптимального програмного забезпечення з метою навчання та перевірки знань з охорони праці проводився по наступним параметрам: вартість програмного продукту, час та кошти, витрачені на навчання співробітника користуватись програмою, наявність та вартість технічної підтримки та додаткові можливості кожного з програмних комплексів (за їх наявності). Проведений аналіз дозволяє підібрати оптимальний варіант програмного забезпечення для проведення навчання та перевірки знань робітників з питань охорони праці незалежно від галузі підприємства. Результати роботи можуть застосовуватись для вибору оптимального програмного забезпечення не тільки для навчання та перевірки знань з охорони праці на підприємстві та у відповідних відомствах, а й для підбору програмного забезпечення для інженера з охорони праці з метою автоматизації його роботи.

Ключові слова: охорона праці, навчання та перевірка знань з охорони праці, програмне забезпечення, автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці, Автоекзаменатор «Охорона праці», електронне робоче місце інженера з охорони праці, програма Організатор.

I. S. SOKOLAN, O. V. ROMANISHINA

Khmelnitskyi National University

## ANALYSIS OF THE SOFTWARE FOR TRAINING AND KNOWLEDGE ASSESSMENT REGARDING PROFESSIONAL SAFETY

Special aspects of software, containing functionality of training and knowledge assessment regarding professional safety are envisaged. On the grounds of data, provided by State Statistics Service of Ukraine it was concluded that use of informational and communication technologies at enterprises increases from year to year, notwithstanding the branch of manufacture, thereby timeliness of the article was proven. Furthermore, advantages of use of such technologies in educational process on the grounds of data of Dmitrieva's pedagogical experiment were highlighted. Properties of four main software packages, specifically Autoexaminator "Ohorona pracci", Automated working station of occupational safety engineer, Electronic working station of occupational safety engineer and Organizer, 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, time and price, expended for training an employee to use the software, existence and price of technical support and additional properties of each software package (in case of their existence). Conducted analysis allows to selection of optimal software for training and knowledge assessment regarding professional safety independently of industry activities of an enterprise. Results of this research paper can be applied for selection of optimal software not only for training and knowledge assessment regarding occupational safety, but also for software excerption for occupational safety engineer in an attempt to introduce automation into his work.

Keywords: professional safety, training and knowledge assessment regarding professional safety, software, automated working station of occupational safety engineer.

### Постановка проблеми

У відповідності зі статтею 18 Закону України «Про охорону праці» працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні проходити за рахунок роботодавця інструктаж, навчання з питань охорони праці, з надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварії. Посадові особи, діяльність яких пов'язана з організацією безпечного ведення робіт, під час прийняття на роботу і періодично, один раз на три роки, проходять навчання, а також перевірку знань з питань охорони праці [1]. Навчання та перевірка знань з питань охорони праці є обов'язковою умовою, яка регламентується Законом України «Про охорону праці», Трудовим законодавством України, Кодексом цивільного захисту населення, а також типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05).

За даними державної служби статистики України рівень комп'ютеризації підприємств в період з 2014 до 2017 р. щороку зростає [2]. Найвищий рівень комп'ютеризації показали підприємства, що здійснювали діяльність у сфері інформації та телекомунікацій – 98,3 % (у 2015 р. – 98,2 %). Високим значення цього показника було у підприємств, що діяли у сфері водопостачання; каналізації, поводження з відходами – 98,0 % (у 2015 р. – 98,1 %). Найменший рівень комп'ютеризації спостерігався у підприємств із

діяльності у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування – 89,1 % (у 2015 р. – 89,2 %). Можна зробити висновок, що кількість підприємств, які використовують комп'ютери у своїй роботі, з кожним роком збільшується. Це означає, що актуальність розгляду та аналізу програмного забезпечення з кожним роком тільки зростає.

Ідея застосування комп'ютера в навчальному процесі виникла у зв'язку з реалізацією програмованого навчання. Спочатку комп'ютер розглядався як більш досконалий порівняно з іншими навчальними машинами засіб програмованого навчання. Згодом стало очевидним, що його застосування призводить до якісних змін у змісті, методах і формах навчання, дозволяє створювати нове навчальне середовище. За допомогою комп'ютера як засобу навчання можна реалізувати програмоване і проблемне навчання. Комп'ютер використовують для навчального моделювання науково-технічних об'єктів і процесів. Використання комп'ютера в процесі навчання сприяє також підвищенню інтересу й загальної мотивації навчання завдяки новим формам роботи і причетності до пріоритетного напрямку науково-технічного прогресу; активізації навчання завдяки використанню привабливих і швидкозмінних форм подання інформації.

Розвиток комп'ютерних технологій привів до їх використання у всіх сферах людської діяльності як в побуті, так і на підприємствах різного характеру для вирішення широкого кола завдань. Оскільки тенденції розвитку підприємств, комп'ютерних технологій та програмних комплексів не припиняють свій розвиток, а тільки вдосконалюються, актуальним є питання спрощення процесу навчання працівників та перевірки знань з питань охорони праці із застосуванням комп'ютеризованих технологій.

### Аналіз останніх джерел

Дмітрієва І.А. у своїй роботі [3] надала статистику по дослідженню питання підвищення ефективності навчання за допомогою інформаційно-комп'ютерних технологій. За результатами проведеного дослідження було встановлено, що функція інтерактивності інформаційно-комп'ютерних технологій, що реалізується педагогом за допомогою персонального комп'ютера, за даними проведеного експерименту, сприяє формуванню самостійності в розв'язанні навчальних задач (78 %), дозволяє індивідуалізувати необхідності в спілкуванні з педагогом (62 %), знизити емоційне напруження (56 %). За результатами проведеного експерименту 7 студентів контрольної групи, навпаки, розглядають використання персонального комп'ютера як стримуючий фактор у спілкуванні з педагогом, а 20 % взагалі не мають уявлення про можливість використання інформаційно-комп'ютерних технологій в навчальному процесі [3].

### Виклад основного матеріалу

На ринку програмних продуктів, які призначені або містять у собі функцію навчання та перевірки знань з питань охорони праці існує чотири 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. Автоекзаменатор «Охорона праці»

Дане програмне забезпечення призначене для навчання та перевірки знань робітників в області охорони праці: законодавства з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та ін. Дане ПЗ представляє собою сучасний ефективний інструмент, який спрощує контроль та керування підготовкою персоналу в області охорони праці [4].

Вказаний автоекзаменатор представляє собою пакет прикладних програм, який входять наступні програмні забезпечення:

1. Програма «Курс» – навчання та перевірка знань
2. Програма «Організатор» – організація та контроль процесів навчання та перевірки знань.
3. Редактори навчальних матеріалів – внесення змін в існуючий навчальний матеріал та розробка нових навчальних матеріалів.
4. Навчальні матеріали по нормативним документам – тексти 220 нормативних документів та 55 тисяч питань до них.
5. Навчальні матеріали для навчання посадових осіб – розроблені на основі Типової тематичної програми навчання з питань охорони праці для посадових осіб

На автоекзаменаторі робітник вивчає навчальний матеріал. Навчальний матеріал (рис. 1) включає в себе тексти нормативних документів, які повинен знати робітник, та тестові питання до них (рис. 2). Після пробного тестування, робітник може самостійно оцінити засвоєння матеріалу.

Зручності при навчанні на Автоекзаменаторі:

1. Кожен робітник в зручному для себе темпі вивчає тільки те, що він повинен знати у відповідності з своїми посадовими обов'язками.
2. Робітник може самостійно оцінювати свої знання та планувати роботу над помилками.
3. Займатися на авто экзаменаторі можна всюди, де є доступ до інтернету та в любий зручний час [4].

Автоекзаменатор автоматично формує текст з питаннями по тим нормативним документами, які увійшли в учбовий матеріал. Кожне питання містить декілька варіантів відповідей. За результатами тестування автоматично виставляється оцінка та формується звіт по тестуванню.

## 1. Закон України "Про охорону праці"

\* Розділ I. Загальні положення  
 + Розділ II. Гарантії прав на охорону праці  
 - Розділ III. Організація охорони праці


+ Стаття 13. Уповноважені охороною праці та безпекою робітдавця  
 + Стаття 14. Обов'язки та функції щодо забезпечення вимог нормативно-правових актів з охорони праці  
 + Стаття 15. Служба охорони праці на підприємстві  
 + Стаття 16. Кодекс з питань охорони праці підприємства  
 + Стаття 17. Особливі медичні огляди працівників певних категорій  
 + Стаття 18. Навчання з питань охорони праці

? Ст.18. Чи існують такі навчання за рахунок роботодавця, повинні проходити працівники під час призначення на роботу і в процесі роботи?  
 ? Ст.18. Як часто працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпечкою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні проходити спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці?  
 ? Ст.18. Повинні особи, діяльність яких пов'язана з організацією безпечної ведення робіт, проходити навчання, а також перевірку знань з питань охорони праці?  
 ? Ст.18. У разі виявлення у працівників, у тому числі посадових осіб, незадовільних знань з питань охорони праці вони повинні...

+ Стаття 19. Фінансування охорони праці  
 + Стаття 20. Регулювання охорони праці у колективному договорі, угоді  
 + Стаття 21. Додержання вимог щодо охорони праці під час проєктування, будівництва (виготовлення) та реконструкції підприємств, об'єктів і засобів виробництва  
 + Стаття 22. Розслідування та облік медичних випадків, професійних захворювань і аварій  
 + Стаття 23. Інформаційна діяльність про стан охорони праці

САМОПІДГОТОВКА

Тема 1. Законодавство України про охорону праці



Пробний тест

Назад

Рис. 1. Навчальний матеріал в автоекзаменаторі

## 101. Закон України "Про охорону праці"

0 Ст.18. Як часто працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпечкою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні проходити спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці?

Ваші відповіді

Правильний відповідь

Один раз на два роки.  
 Щороку.  
 Один раз на три роки.

Текст НА

САМОПІДГОТОВКА

Тема 1. Законодавство України про охорону праці




Рис. 2. Тестові питання в автоекзаменаторі

Можна виділити наступні зручності при перевірці знань на автоекзаменаторі:

1. Підвищується об'єктивність перевірки знань. Комп'ютер не стомлюється, завжди ввічливий, не входить «в положення» людини, яку він тестує. Тобто, повністю відсікається так званий людський фактор.
2. Існує можливість керувати надійністю системи оцінки знань – в тест можна включити будь-яке число питань з нормативних документів.
3. Економія часу членів комісії.
4. Доступна корисна інформація про історію навчання співробітника: час, який був витрачений на вивчення кожного нормативного акту, звіти по тестуванню.

При підготовці навчальних програм для кожної категорії робітників можна обрати ті нормативні документи, які робітник повинен знати, та задати спосіб тестування – дізнатись про кількість питань в тесті, за необхідності обмежити час тестування, взяти долю питань тесту, які повинен знати робітник для отримання позитивної оцінки.

Підготовка персоналу проходить в наступному порядку [4]:

Крок 1. Самопідготовка без комп'ютера. Автоекзаменатор виводить на друк список нормативних документів та питань, що підбираються у відповідності з навчальною програмою для конкретного працівника. На основі цих даних працівник самостійно готується до здачі екзамену з питань охорони праці.

Крок 2. Самопідготовка на Автоекзаменаторі. Робітник працює на комп'ютері, відповідає на питання та додатково вивчає нормативні документи. Самопідготовка починається за 2-3 тижні до тестування та займає в середньому від 2 до 4 годин.

Крок 3. Тестування на Автоекзаменаторі. Його можна проводити не раніше ніж за тиждень до перевірки знань комісією. Кожному робітнику комп'ютер формує свій тест. Оцінка виставляється автоматично та формується звіт про тестування. Якщо тест не зданий, робітник після додаткової підготовки здає новий тест.

Крок 4. Перевірка знань комісією. На комісію допускаються тільки робітники, що здали тести. Комісія аналізує звіти про тестування, задає або не задає робітнику додаткові питання та приймає рішення стосовно його допуску до роботи.

## 2. Автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці

АРМ ОТ (автоматизированное рабочее место инженера по охране труда) – програмне забезпечення автоматизованого робочого місця інженера з охорони праці, розроблене на території Російської Федерації. Програма призначена для інформаційної підтримки діяльності інженера з охорони праці, актуалізації та аналізу інформації, що стосується питань охорони праці на підприємстві.

Програма АРМ ОТ дозволяє виконувати наступні задачі [5]:

1. Вести картотеку персоналу.
2. Вести медогляди, складати графік проведення медоглядів.
3. Вести облік порушень з охорони праці, проводити аналіз порушень з охорони праці.
4. Вести облік перевірки знань персоналу, складати графік перевірки знань.
5. Автоматизувати процес перевірки знань персоналу.
6. Вести облік виданих приписів, автоматизувати процес видачі приписів, проводити аналіз виданих приписів та їх виконання.

7. Автоматизувати процес складання акту Н-1 та сповіщення про наслідки нещасного випадку.
8. Вести облік травматизму, проводити аналіз травматизму на підприємстві.
9. Вести архів документів з охорони праці, виконувати контроль за їх своєчасним переглядом.
10. Вести облік обладнання, вести облік технічних (експертних) оглядів, скласти графік технічних (експертних) оглядів обладнання.
11. Вести облік витрат в сфері охорони праці на підприємстві, проводити аналіз витрат на охорону праці.

Як видно, дане програмне забезпечення має більш широкий спектр можливостей у використанні інженером з охорони праці, ніж Автоекзаменатор «Охорона праці». Але слід розглянути питання саме перевірки знань з використанням програмного продукту АРМ ОТ.

Розглянемо кожен з пунктів програми.

1. Теми екзаменів. В даному пункті користувач може створити тему нового екзамену або переглянути список вже існуючих екзаменів з охорони праці. В даному режимі є можливість навігації між темами, можливість додати тему, редагувати її або видалити.

2. Екзаменаційні комісії. В даному пункті користувач може задати склад комісії для перевірки знань з питань охорони праці, та призначити її до конкретного екзамену. Таким чином, є можливість призначити різний склад комісії для різних екзаменів з охорони праці.

3. Нормативно-правові акти до екзаменаційних питань. У даному пункті є можливість задати всі нормативно-правові акти. На початковому етапі в програму не занесений жодний нормативно-правовий акт, що звичайно, є недоліком. Але, таким чином, можна регулювати чинність діючих нормативно-правових актів, видаляти їх або редагувати, якщо відбулись зміни в законодавстві.

4. Довідник (редактор) питань. На рис. 3 зображено редактор питань, які будуть використані в екзамені. Як видно, є можливість задати питання та 5 варіантів відповідей для нього, прив'язати конкретне питання до нормативно-правового акту та роздрукувати список питань.

Якщо порівнювати АРМ ОТ з Автоекзаменатором, то недоліком АРМ ОТ звичайно є «непідготовленість програми» (відсутність бази даних з питаннями). Але з іншої точки зору, більша гнучкість системи для розширення кола питань. Користувач може вручну внести в програму необхідну кількість конкретних питань, та не бути обмеженим базами даними з питаннями, які надає розробник програмного забезпечення.

4. Параметри екзамену. Цей пункт програми дозволяє задати основні параметри екзамену. Наприклад, кількість питань на екзамені, допустимий час відповіді на одне питання, критерії оцінювання.

5. Експорт/імпорт питань. Програмний продукт також дає можливість провести експорт/ імпорт питань, який можна використовувати навіть для створення резервних копій екзаменаційних питань. Перша опція «Експорт екз. питань з БД програми в файл» дозволяє

скопювати всі питання з програми в конкретний файл на комп'ютері для подальшого використання на інших ЕОМ. В такому випадку на другій ЕОМ слід провести імпорт питань, натиснувши другу опцію.

6. Списки питань до тем екзаменів. У даному пункті програмного продукту є можливість переглянути список питань стосовно кожної з обраних тем екзаменів. Вказаний пункт дає можливість користувачу редагувати питання, додавати або видаляти їх за необхідності. Крім того, налаштовано автоматичний друк питань з бази даних програми. При натисканні цієї кнопки програма автоматично формує список питань у вигляді текстового файлу MS Word, який можна редагувати або відправляти на друк.

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

Програма «Електронне робоче місце інженера з охорони праці» (ЕРМ) призначена для автоматизованого розв'язання повсякденних задач інженера з охорони праці та дозволяє автоматизувати різні аспекти його діяльності, а саме:

- проведення медоглядів;
- забезпечення засобами індивідуального захисту;
- перевірка знань робітників по різним програмам;
- проведення інструктажів з охорони праці;
- атестація робочих місць;
- виконання виробничого контролю;
- облік нещасних випадків та професійних захворювань на виробництві.

Рис. 3. Бланк створення нового екзаменаційного питання в АРМ ОТ

Крім того, програма дозволяє:

- працювати з довідниками нормативних документів;
- вести органайзер з нагадуваннями стосовно майбутніх справ;
- отримувати повідомлення про майбутні події;
- швидко та наочно отримувати представлення про стан справ в кожній з областей охорони праці за допомогою кольорових індикаторів (KPI).

Програмний продукт складається з модулів, при чому кожен з них відповідає за конкретну галузь діяльності інженера з охорони праці. Модулі ЕРМ зображені на рис. 4.

Всі модулі мають один й той же самий принцип організації, завдяки чому досягається єдність та схожість між собою. В загальному випадку кожен модуль дозволяє [6]:

- створювати ті об'єкти, з якими працює модуль (наприклад, особисті карточки працівників, ЗІЗ, робочі місця, виробничі дільниці, тощо), а також задавати періодичність та другі властивості цих об'єктів (наприклад, період проведення атестації робочого місця, період проведення повторних інструктажів з охорони праці);
- переглядати графік майбутніх подій та самостійно або за повідомленням виконувати з цими об'єктами ті чи інші дії (наприклад, відмічати факт видачі ЗІЗ робітникам або проведення виробничого контролю на дільниці);
- переглядати історію виконаних дій в журналі подій;
- змінювати налаштування модуля в цілому (наприклад, вказувати час, за який потрібно надати оповіщення стосовно майбутньої події з графіку);
- вести органайзер, який призначений для управління справами, пов'язаний з подіями, що проводяться (наприклад, складати список справ, необхідних для проведення атестації робочого місця);
- працювати з документацією, яка відповідає тематиці модуля (наприклад, переглянути інструкції з охорони праці).

ЕРМ інженера з охорони праці представляє собою програмний комплекс, який складається з двох основних частин:

- програма, з якою безпосередньо працює сам користувач;
- база даних, яка зберігає в собі всю інформацію, що була введена користувачем під час роботи з програмою. База даних працює під управлінням Microsoft SQL Server 2008 R2 Express.

Розглянемо більш детально модуль «Перевірка знань». Даний модуль дозволяє контролювати процес перевірки знань та проходження навчання співробітників. У кожного робітника повинна бути зареєстрована особова карточка перевірки знань з охорони праці, в якій вказується коли і яким періодом виконується перевірка знань. Додатково можна завести необмежену кількість програм навчання та перевірки знань та налаштувати їх проведення для співробітників. Графік перевірки знань працівників дозволяє відстежити найближчі перевірки, а журнал проведення перевірки знань зберігає історію всіх перевірок. Робота з модулем починається з налаштування довідника програм перевірки знань та заведення особових карточок працівників.

1. Довідник програм перевірки знань. Вказаний довідник містить список програм перевірки знань співробітників із зазначенням назви програми, коду програми (скороченої назви) та періоду проведення навчання та перевірки знань (рис. 5).



Рис. 4. Схема модулів ЕРМ

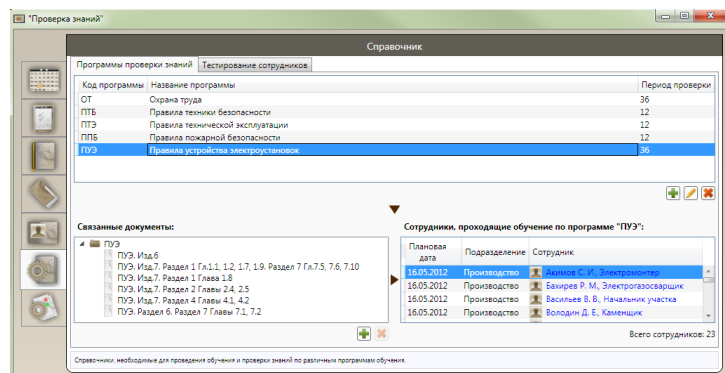


Рис. 5. Інтерфейс довідника програм перевірки знань в ЕРМ

2. Довідник тестів та проведення тестування співробітників. В цьому довіднику користувач може створювати різні тести та проводити тестування співробітників.

3. Графік перевірки знань. Програмний комплекс ЕРМ дає можливість створити графік перевірки знань. Всі перевірки згруповані по даті проведення. В кожній перевірці є кольоровий індикатор (KPI), який змінює колір залежно від стану проведення перевірки [6].

- червоний колір означає, що перевірка знань прострочена більше допустимого часу;
- жовтий колір – перевірка знань прострочена, але на допустимий час;
- зелений колір – проведення перевірки знань йде по плану.

#### 4. Організатор.

Програмний продукт «Організатор» – це інтегрована система збору та аналізу даних про стан охорони праці на підприємстві [7]. «Організатор» складається з двох частин:

1. Програмне забезпечення. Представляє собою набір функціональних програмних модулів, з'єднаних в програмні комплекси. Робоче місце спеціаліста конфігурується у відповідності з його обов'язками.

2. База даних. Призначена для накопичування інформації про стан охорони праці. Вся інформація зберігається в єдиній інтегрованій базі даних. Саме це дозволяє в результаті тримати під контролем виконання заходів, консолидувати та аналізувати інформацію про стан охорони праці.

«Організатор» складається з програмних комплексів, схем зв'язку яких показана на рис. 6. При покупці є можливість обрати оптимальний для конкретного підприємства склад, який потім можна доповнити. При розгляді питання навчання робітників та перевірки знань з питань охорони праці, нас цікавить комплекс модулів «Персонал: медогляди, перевірка знань». Комплекс «Персонал: медогляд, перевірка знань» призначений для планування, контролю виконання та обліку робіт з персоналом. Схема вказаного комплексу зображена на рис. 7.

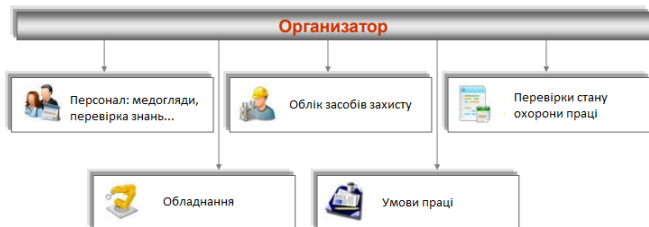


Рис. 6. Складові частини програмного комплексу «Організатор»

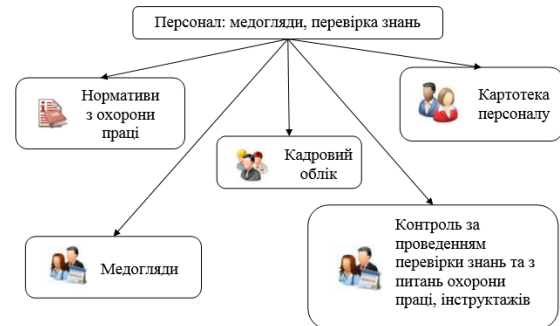


Рис. 7. Схема комплексу «Персонал: медогляд, перевірка знань» в «Організаторі»

Цей комплекс включає в себе наступні функціональні програмні модулі:

1. Нормативи з охорони праці. Представляє собою довідкову базу, в якій фіксуються вимоги щодо кожної професії у відповідності з штатним розкладом: види та періодичність проведення медоглядів, інструктажів, перевірки знань з питань охорони праці, норми забезпечення засобами захисту, пільги та компенсації за роботу у впроваджених умовах праці.

2. Картотека персоналу. Картотека робітників містить розділ персональних даних та розділи, де автоматично ведуться записи про проходження медоглядів, відомості про перевірку знань, дані про забезпечення засобами захисту, передбачені пільги та компенсації, зафіксовані порушення вимог охорони праці.

3. Кадровий облік. Ведення обліку робітників підприємства відповідно штатного розкладу. Модуль охоплює комплекс задач, який виконує спеціаліст з обліку кадрів (без кадрового діло виробництва).

4. Медогляди. Побудова графіків та облік проведення медоглядів. Формування Акта категорій робітників, які підлягають попередньому (періодичному) медичному огляду. Контроль строків проведення медоглядів. Аналітичні довідки та вибірка.

5. Контроль за проведенням перевірки знань та з питань охорони праці, інструктажів. Побудова графіків та облік проведення перевірки знань з питань охорони праці. Контроль строків проведення перевірки знань з питань охорони праці. Аналітичні довідки та вибірки.

Розглядаючи питання вибору оптимального програмного комплексу для навчання та перевірки знань з питань охорони праці слід виокремити основні параметри, за якими буде проводитись аналіз ефективності та вибір програмного продукту.

1. Вартість програмного комплексу.

1.1. Автоекзаменатор «Охорона праці» дає широкий спектр можливостей у придбанні програмного комплексу, до якого входять

- ліцензія на використання програмного продукту Автоекзаменатор;
- ліцензія на користування базами даних по типовій програмі навчання з питань охорони праці посадових осіб;
- ліцензія на користування базами даних по нормативно-правовим актам;
- редактор навчальних матеріалів. Ліцензія на один комп'ютер;
- розробка учбових матеріалів на замовлення.

Якщо розглядати питання мінімальної комплектації, то вартість програмного продукту становитиме 7 560 грн. При найширшій комплектації без можливості редагувати навчальні матеріали вартість становитиме 11 430 грн, а з можливістю редагування – 26 718 грн. Крім того, підприємство НВП «Протек» дає можливість взяти програмний продукт в оренду. Оренда програмного продукту залежить від кількості робітників, що одночасно будуть працювати за комп'ютером. Якщо розглядати приклад для 10 робочих місць, то оренда в місяць становитиме 2285 гривень, а в рік – 27420 грн.

Можна зробити висновок, що оренда програмного комплексу є економічно вигідною тільки за умови, що підприємство буде використовувати Автоекзаменатор протягом 1–2 місяців в рік. В іншому випадку доцільніше придбати програмний продукт.

1.2. Автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці надається безкоштовно.



1.3. «Організатор» коштує 8 380 гривень на один комп'ютер, плюс 10 % від вартості за ліцензію на інших комп'ютерах. У випадку з ліцензіями на 10 комп'ютерах вартість становитиме 15 922 грн.

1.4. Електронне робоче місце інженера з охорони праці слід розглядати в двох варіантах – базова та преміум комплектація. Базова. Ліцензія на придбання програмного комплексу становить 12 100 гривень, плюс 475 гривень за інші 9 робочих місць. Таким чином, для використання ЕРМ на 10 комп'ютерах витрати будуть коштувати 16 375 грн. Преміум. Ліцензія на придбання програмного комплексу становить 16 940 гривень, крім того ще 3 безкоштовних ліцензії, плюс 475 гривень за інші 6 робочих місць. Таким чином, для використання ЕРМ на 10 комп'ютерах витрати будуть коштувати 19 225 грн.

Результати по аналізу вартості програмних комплексів зображені на рис. 8.

2. Час та кошти, витрачені на навчання робітника працювати з програмним продуктом.

2.1. Автоекзаменатор «Охорона праці» – достатньо простий програмний продукт з «доброзичливим» до користувача інтерфейсом. Приблизний час опанування базовим комплектом становить 1 робочий день. Якщо розглядати не тільки Автоекзаменатор, але й редактор навчальних матеріалів, приблизний час самонавчання становить 5 робочих днів. Слід враховувати людський фактор – не кожен співробітник здатен самостійно оволодіти програмним продуктом.

НВП «Протек» дає можливість пройти платне навчання по використанню Автоекзаменатору. В кожному з випадків (як у стандартному наборі, так і у випадку опанування редактору навчальних матеріалів) вартість навчання становить 2700 гривень за кожен блок. Тобто, якщо це можливо, опанування повним пакетом програмного продукту робітником самостійно буде до 7 робочих днів. У випадку проходження навчання на базі НВП «Протек», опанування буде коштувати 5400 гривень (плюс транспортні витрати) та триватиме 2 робочих дні.

2.2. Автоматизоване робоче місце з охорони праці.

Програмний продукт є безкоштовним, саме тому розробники вже не надають послуги стосовно навчання по використанню програмного продукту. До того ж, оскільки програмний продукт був створений на території Російської Федерації, процес навчання зайняв би багато часу та матеріальних витрат.

Оскільки АРМ ОТ надає можливість вирішувати широке коло задач, пов'язаних з роботою інженера з охорони праці, процес самостійного опанування буде займати приблизно 10–14 робочих днів. В допомогу до самостійного опанування розробники передбачили довідковий матеріал.

2.3. «Організатор», а саме модуль «Персонал: медогляди, перевірка знань» більш складний для самостійного опанування. Якщо робітник приблизно орієнтується в тому, на чому побудовані програмні комплекси та бази даних, то час на самостійне опанування «Організатором» становитиме приблизно 10 робочих днів. Але розробники передбачили навчання, яке коштує 1800 гривень за одну людину, та триває 3 дні.

2.4. У випадку з ЕРМ інженера з охорони праці, процес навчання теж можливий тільки в самостійному порядку, оскільки програмний продукт, як і АРМ ОТ, був розроблений на території Російської Федерації. Оскільки програмний комплекс вирішує дуже широке коло задач, то процес самостійного навчання буде займати приблизно 20 робочих днів.

Проведений аналіз дозволяє наочно зобразити витрачений час та кошти на навчання співробітника користуватись програмним комплексом у графічному вигляді (рис. 9).



Рис. 8. Результати аналізу вартості програмних продуктів (ліцензія на 10 комп'ютерів)

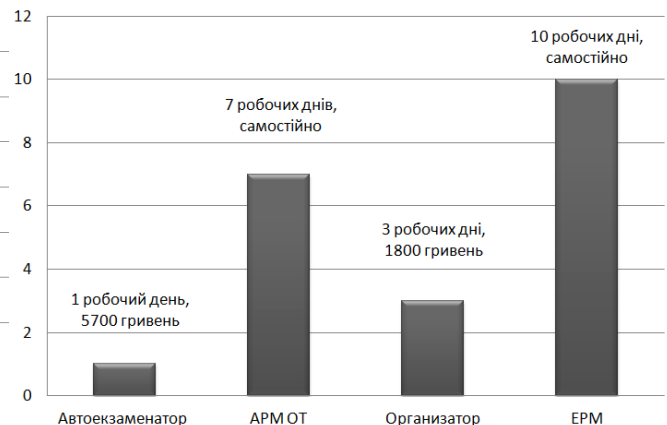


Рис. 9. Витрачений час та кошти на опанування програмного продукту однією людиною

### 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.

Розглядаючи питання наявності технічної підтримки для кожного з проаналізованих програмних комплексів, результати можна представити у таблиці 1.

Таблиця 1

**Наявність та вартість технічної підтримки програмного продукту<sup>о</sup>**

Назва	Технічна підтримка	Назва	Технічна підтримка
Автоекзаменатор «Охорона праці»	3120 грн/рік	Організатор	10 % вартості (мінімум 830 грн)/ Рік можливість замовлення розширеної техпідтримки
АРМ ОТ	Відсутня	ЕРМ	Безкоштовна

4. Додаткові можливості. Для більш наочного розуміння додаткових можливостей кожного програмного продукту, слід зробити зведену таблицю за додатковими можливостями кожного програмного комплексу (табл. 2).

Таблиця 2

**Наявність та вартість технічної підтримки програмного продукту<sup>о</sup>**

Додаткові можливості	Автоекзаменатор	АРМ ОТ	Організатор	ЕРМ
Картотека персоналу	–	+	+	+
Нещасні випадки та профзахворювання	–	+	+	+
Аналіз травматизму за обраний період	–	+	–	+
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	–	+	+	+

Провівши аналіз додаткових можливостей програмних продуктів можна зробити висновок, що найбільш широкі можливості надають два програмних продукти – Автоматизоване робоче місце інженера з охорони праці (АРМ ОТ) та Електронне робоче місце інженера з охорони праці (ЕРМ).

Проаналізувавши програмне забезпечення, що містить функціонал для навчання та перевірки знань з питань охорони праці, можна надати основні рекомендації щодо їх застосування:

- повна версія Автоекзаменатора «Охорона праці» доцільна для використання у навчальних центрах;
- на невеликому підприємстві з кількістю робітників до 50 людей найбільш оптимальним вибором є АРМ ОТ, оскільки містить весь необхідний функціонал з питань охорони праці та є безкоштовним програмним продуктом;

- «Організатор» є більш якісним програмним забезпеченням, але дорожчим, тому рекомендується використовувати його на малих та середніх підприємствах у випадку наявності фінансової можливості оплати його вартості із технічною підтримкою;

- програмний комплекс ЕРМ є найбільш оптимальним програмним продуктом для великих підприємств, на яких залучено більше 500 осіб.

**Висновки**

Проведений аналіз дав можливість виокремити переваги та недоліки існуючого програмного забезпечення для проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці. Також було розглянуто питання вибору оптимального програмного комплексу з врахуванням розміру підприємства, його фінансових можливостей та частоти проведення перевірки знань з питань охорони праці. Крім того, було виокремлено два програмних продукти та, на основі проведеного аналізу, було обрано найбільш оптимальний варіант, який призведе до автоматизації роботи навчальних центрів, а внаслідок цього – до економії часу, підвищення точності результатів, пришвидшення та модернізації процесу навчання робітників з питань охорони праці.

**Література**

1. Кодекс законів про працю України від 10.12.1971 № 322-VIII (поточна редакція – 05.10.2016) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : zakon5.rada.gov.ua.
2. Використання інформаційно-комунікаційних технологій на підприємствах [Електронний ресурс] : статистичний бюлетень / Державна служба статистики України. – Київ, 2017. – 30 с. – Режим доступу : [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publinform\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publinform_u.htm)

3. Дмитриева И.А. Повышение эффективности обучения средствами интерактивных информационных технологий: на примере изучения курса «Педагогика»: дис. ... кандидата пед. наук : 13.00.08 / Дмитриева Ирина Анатольевна. – Т., 2005. – 147 с.

4. Науково-виробниче підприємство «ПРОТЕК». Обучение и проверка знаний по вопросам охраны труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.protec.ua/main\\_ua.html?#page:id:18](http://www.protec.ua/main_ua.html?#page:id:18)

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

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

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

#### References

1. Kodeks zakoniv pro pratsiu Ukrainy vid 10.12.1971 № 322-VIII (potochna redaktsiia – 05.10.2016) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [zakon5.rada.gov.ua](http://zakon5.rada.gov.ua).

2. Vykorystannia informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii na pidpriemstvakh [Elektronnyi resurs] : statystychni biuletyn / Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. – Kyiv, 2017. – 30 s. – Rezhym dostupu : [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publinform\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publinform_u.htm)

3. Dmitrieva I.A. Povyshenie effektivnosti obucheniya sredstvami interaktivnykh informatsionnykh tekhnologiy: na primere izucheniya kursa «Pedagogika»: dis. ... kandidata ped. nauk : 13.00.08 / Dmitrieva Irina Anatolevna. – Т., 2005. – 147 s.

4. Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo «ПРОТЕК». Obuchenye y proverka znanyi po voprosam okhrany truda [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [http://www.protec.ua/main\\_ua.html?#page:id:18](http://www.protec.ua/main_ua.html?#page:id:18)

5. «АРМ ОТ» – avtomatizirovannoe rabochee mesto spetsialista po ohrane truda [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : [https://ohranatruda.ru/ot\\_soft/arm/index.php](https://ohranatruda.ru/ot_soft/arm/index.php)

6. Rukovodstvo polzovatelya ERM inzhenera po ohrane truda [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.forum-media.ru/doc/6024/manual/help.htm>

7. Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo «ПРОТЕК». Effektivnyy ynstrument sluzhby okhrany truda [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [http://www.protec.ua/main\\_ua.html?#page:id:21](http://www.protec.ua/main_ua.html?#page:id:21)

Рецензія/Peer review : 15.09.2020 р.

Надрукована/Printed :05.11.2020 р.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОПЕРЕСЛІДУВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

Створили експериментальну систему і програмне забезпечення для генерування і дослідження команд на двигуни безпілотного літального апарата (БПЛА) та його автоматичного повертання при фотопереслідуванні рухомого об'єкта з метою оптимізації процесів керування. Використали квадрокоптер з рамою Q450, двигунами D2212-920kv і пропелерами з розмірами 10x1,5 см. Встановили автопілот Pixhawk PX-4 з відкритим програмним кодом і бортовий комп'ютер Raspberry-3 з відеокамерою Pi V2 з роздільним 1080x720 пікселів. Квадрокоптер підвісили так, що пропелери знаходилися у горизонтальній площині. Експериментальна установка включає двоканальний осцилограф типу ISDS205A для вимірювання ширини імпульсів керування моторами і тахометр типу UT-372 для вимірювання швидкості обертання моторів. Склали програму, яка обчислює координати центра зображення X об'єкта в пікселях і відповідні тривалості імпульсів для керування обертанням моторами квадрокоптера за допомогою четвертого каналу приймача автопілота. Система польоту використовує бібліотеку Dronekit, datetime, errno, platform, а програма перетворення відеоряду зображень - бібліотеку sys, OpenCV, Picamera.

Ключові слова: експериментальна установка, програмне забезпечення, фотопереслідування, двомірне обертання, квадрокоптер, автопілот, бортовий комп'ютер.

V. CHYHIN, M. CHERNENKO

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy

## EXPERIMENTAL SYSTEM AND SOFTWARE FOR INVESTIGATION OF PHOTO-PURSUIT OF MOVING OBJECTS BY UNMANNED AERIAL VEHICLE

An experimental system and software have been developed to generate and study commands on the engines of unmanned aerial vehicle (UAV) and its automatic rotation during photo-pursuit of a moving object in order to optimize control processes. There were used the quadcopter with a Q450 frame, D2212-920 kv engines and 10x45 propellers. An open source Pixhawk PX-4 autopilot and a Raspberry-3 on-board computer with a Pi V2 camera with a resolution of 1,080x720 pixels have been installed. The quadcopter was suspended so that the propellers were in a horizontal plane. The experimental setup includes a two-channel oscilloscope type ISDS205A for measuring the width of the motors control pulses and a tachometer type UT-372 for measuring the speed of rotation of the motors. We have compiled a program that calculates the coordinates of the center of the image X of the object in pixels and the corresponding pulse durations to control the rotation of the quadcopter motors using the fourth channel of the autopilot receiver. The flight system uses the libraries Dronekit, datetime, errno, platform, and the video conversion program uses the libraries sys, OpenCV, Picamera.

Keywords: experimental setup, software, photo-pursuit, two-dimensional rotation, quadcopter, autopilot, on-board computer.

**Постановка проблеми.** Робота є продовженням власних досліджень [1–3] у напрямку створення комплексної автоматизованої системи пасивного виявлення небезпечних об'єктів (несанкціонованих безпілотних літальних апаратів, зародків пожеж і т.п.), їх фотозахоплення, переслідування і знешкодження за допомогою БПЛА. Досі досліджувалися процеси виявлення і вимірювання GPS-координат рухомих об'єктів стаціонарними звуковими і фотозасобами, а також політ власного БПЛА на ці координати за допомогою бортової комп'ютерної системи. При цьому не розглядалося питання експериментальних досліджень автоматизованого фотопереслідування і створення відповідного програмного забезпечення для встановлення оптимальних параметрів політної системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У попередніх роботах одного з авторів [1–3] досліджувалися процеси виявлення і вимірювання параметрів польоту безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за допомогою наземних установок із звуковими і фотоприймачами. Створена вперше стаціонарна система фоторозпізнавання і фотозахоплення за допомогою фотокамери типу Кенон-7Д і власного програмного дозволила вимірювати координати квадрокоптера типу Фантом-3 на відстанях порядку 1 км [4]. Крім того, за допомогою експериментального безпілотного авіаційного комплексу досліджено польоти власного БПЛА за попередньо виміряними стаціонарною фотосистемою координатами несанкціонованого об'єкта та його фотозахоплення [5]. При цьому, використання бортового комп'ютера, відеокамери та оригінального програмного забезпечення дозволило вловити квадрокоптер сіткою. Проте, ця система давала можливість виконувати лише політ за наперед визначеними GPS-координатами, але автоматичне фотопереслідування рухомого об'єкта не відбувалося.

У доступних українських публікаціях описуються, в основному, шляхи застосування безпілотних літальних апаратів у військовій та цивільній справах [6, 7]. Не виявлено робіт, зв'язаних з використанням бортового комп'ютера для виконання польотів БПЛА з фотозахопленням і переслідуванням.

В роботах [8, 9] описуються основні елементи, зокрема, сенсори автопілотів коптерів, проте не піднімається питання використання бортового комп'ютера для системи стабілізації і налаштування режимів програмованого польоту. В літературі не виявлено описання структури і принципу роботи автопілота типу Pixhawk. Основні характеристики сучасних міні-комп'ютерів, які можна використати у ролі бортових для

керування польотів, детально описані на сайтах: Raspberry Pi3 [10], Odroid C2 [11], LattePanda [12]. Це однокристалічні плати, 4-ядерні, з тактовою частотою 1,5–2 ГГц, оперативною пам'яттю 1–2 Гбайти, вбудованою пам'яттю – 32 або 64 Гбайти. Комп'ютери Raspberry Pi3 і Odroid C2 передбачають операційну систему Linux, LattePanda – Windows-10. Розміри і маса перших двох є суттєво меншими (85×56 мм<sup>2</sup>, 40 г) від відповідних параметрів LattePanda (88×70 мм<sup>2</sup>, 56 г). Детальний аналіз параметрів цих та інших промислових міні-комп'ютерів дозволив вибрати оптимальний варіант у ролі бортового для експериментальних досліджень з фотопереслідування.

В інтернет-виданнях виявлено ряд програмних забезпечень, зв'язаних з відлагодженням передполітних режимів та автоматичним керуванням польотів за наперед заданою схемою. Вони включають досить широкий спектр функцій для формування політних завдань. Типові програми керування Mission Planner [13] і Q-GroundControl [14] призначені для виконання ряду, строго визначених дій, зокрема, перевірки всіх сенсорів БПЛА перед пуском, заведення моторів, вильоту у вертикальному напрямку на певну задану висоту і виконання самого польоту у певному режимі (Gaided, Loiter тощо). Недоліком цих програм є неможливість створення сценарію з фотопереслідуванням і виконання дії знешкодження, вони є закритими для модернізації.

У роботах [15–18] розглядаються питання створення програм для фотозахоплення. Так, автор [18] склав систему спостереження за рухомих кольоровим об'єктом – кубом і повертання руки робота за допомогою стаціонарної фотосистеми з використанням мікропроцесора типу ардуїно. У роботі [16] нерухомих об'єкт – червона куля розпізнається і знешкоджується за допомогою фотосистеми, встановленої на квадрокоптері. За даними [17], дрон типу DJI Mavic2 Pro може відслідковувати деякі значні за розмірами об'єкти (людину, автомобіль) і летіти на певній відстані від об'єкта (режим *Follow me*). Остання модель квадрокоптера Matrice 100 DJI [18] має можливість уникати зіткнення з предметами. Ні в одній з робіт [15–18] не розглядається функція фотопереслідування, зокрема, об'єкта з малими розмірами і наближення до нього на віддалі, достатню для виконання дії знешкодження. Програми [16–18] є також закритими для модернізації. Інформацію про типові бібліотеки OpenCV, Picamera, DroneKit, RPI.GPIO, які використовуються для знаходження та розпізнавання об'єкта, аналізу та обробки зображення, зв'язку бортового комп'ютера з бортовою камерою, управління БПЛА і виконання дій після завершення переслідування, можна знайти на офіційних інтернет-сторінках.

На наш погляд, для встановлення оптимальних параметрів системи фотозахоплення і переслідування рухомих об'єктів є перспективним створення експериментальної системи і програмного забезпечення для дослідження системи керування БПЛА з використанням бортового комп'ютера і контролера польоту. Бажано використати БПЛА типу квадрокоптер із суттєво зменшеними розмірами пропелерів для проведення експериментів всередині приміщення з режимом виключно обертання навколо вертикальної осі.

**Мета роботи** – створити експериментальну систему і програмне забезпечення для дослідження та оптимізації процесів керування польотом безпілотного літального апарата при фотозахопленні і переслідуванні рухомого об'єкта у двомірному просторі.

### Виклад основного матеріалу. Експериментальна частина

**Методика досліджень.** Оскільки у відомій нам літературі не знайдено описання структури і принципу роботи автопілота типу Pixhawk, зокрема, не висвітлюється його швидкодія у керуванні моторами БПЛА, експериментальну схему вимірювань склали з умовою записів у файли часових залежностей якнайбільшої кількості параметрів фотозахоплення і переслідування рухомого об'єкта. До таких величин віднесли координату X (пікселі) центру зображення об'єкта – червоного диска, число імпульсів K4, які формуються за певною формулою із відомого значення X і подаються на вхід цього автопілота, ширини імпульсів керування ІМП1 і ІМП2 (мілісекунди), які подаються від автопілота Pixhawk до регуляторів обертів моторів, швидкість обертання моторів (оберти за хвилину), які отримали за допомогою лазерного тахометра, а також відхилення зображення плями від лазерного променя (пікселі), прикріпленого до тіла квадрокоптера при реагуванні системи на відхилення об'єкта в горизонтальній площині. При цьому використали дві схеми кріплення бортового комп'ютера Raspberry – незалежне, із кріпленням на окремому нерухомому штоці, а також на борту самого квадрокоптера. Після аналізу часових залежностей всіх цих величин, можна зробити висновки про причини можливих затримок реакції підсистем на відхилення об'єкта, виявлення найсуттєвіших затримок і пропозиції щодо їх усунення, оптимізації системи в цілому.

**Експериментальна установка.** Фотографія на рисунку 1 відображає основні елементи запропонованої експериментальної системи: 1 – бортовий комп'ютер Raspberry Pi3, 2 – автопілот Pixhawk P×4, 3 – провідники з'єднання комп'ютера Raspberry Pi3 та відеокамери Pi v2, закріплених у даному випадку на окремому нерухомому штоці, з автопілотом Pixhawk, 4 – мотори – безколекторні двигуни типу Sunnysky V2814-11 800KV, 5 – пропелери типу 10×45, 6 – лазерний ліхтарик із пучком зеленого кольору, 7 – GPS-приймач, 8 – лазерний тахометр типу UT-372, 9 – об'єкт переслідування – червоний диск, який переміщується на планці по горизонталі, 10 – пляма від лазерного променя, 11 – літєво-полімерний акумулятор типу Multistar ємністю 5200 мА·год, 12 – комп'ютер стаціонарний, 13 – осцилографічна приставка – двоканальний USB-осцилограф типу ISDS205A для вимірювання ширини імпульсів керування моторами, 14 – монітор із зображеннями диска з камери, даних обчислень бортовим комп'ютером, ширини імпульсів і швидкості обертання моторів, 15 – вікно терміналу з фотозахопленням, 16 – вікно з обчисленими кількостями імпульсів K4, 17 – вікно осцилографа з осцилограмою імпульсів імп1 і імп2 та їх шириною, 18 – вікно тахометра зі швидкістю обертання одного із двигунів коптера.

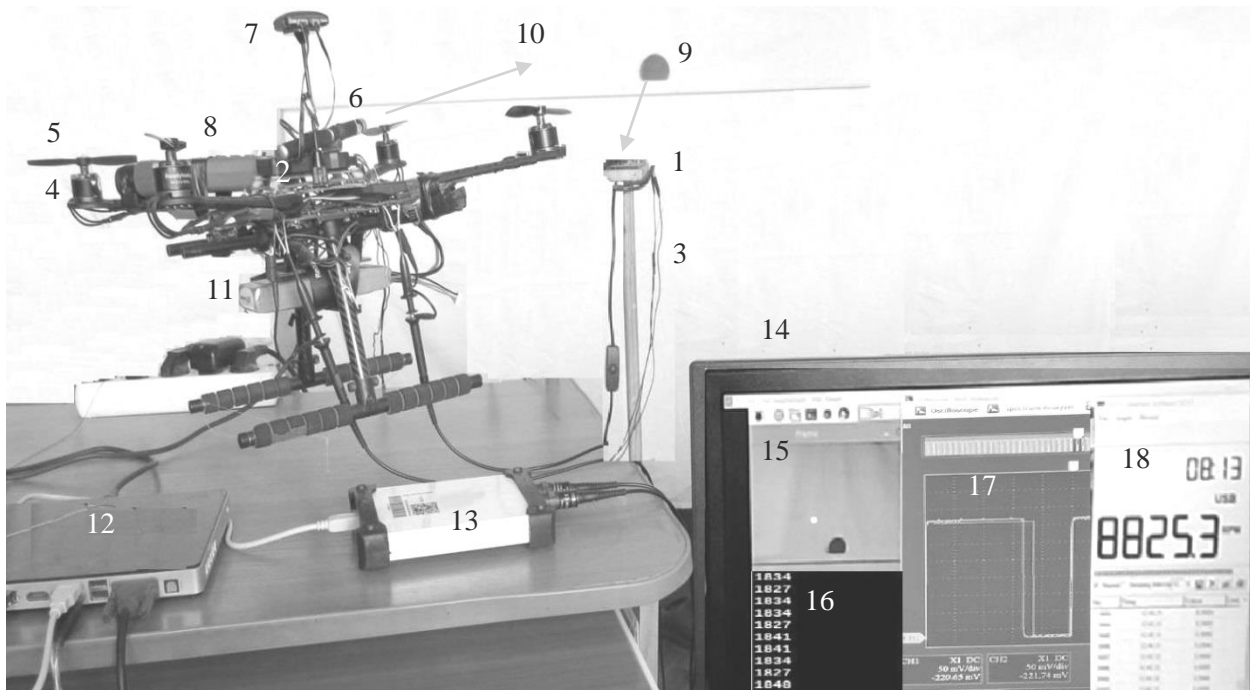


Рис. 1. Фотографія експериментальної установки:

- 1 – бортовий комп'ютер Raspberry Pi, 2 – автопілот Pixhawk, 3 – провідники з'єднання Raspberry Pi з автопілотом, 4 – мотори, 5 – пропелери, 6 – лазерний ліхтарик, 7 – GPS-приймач, 8 – лазерний тахометр, 9 – об'єкт переслідування – червоний диск, 10 – пляма від лазерного променя, 11 – акумулятор, 12 – комп'ютер стаціонарний, 13 – осцилографічна приставка, 14 – монітор, 15 – вікно терміналу з відеозахопленням, 16 – вікно з обчисленими кількостями імпульсів K4, 17 – вікно осцилографа з осцилограмою імпульсів ІМН1 і ІМН2 та їх шириною, 18 – вікно тахометра зі швидкістю обертання мотора

Камеру Raspberry Pi v2 використали у ролі фотоапарата, з отриманням і опрацюванням кожного наступного кадру за допомогою власної програми з інтервалом 1/30 секунди. Для зменшення тяги у приміщенні оригінальних для квадрокоптера з рамою Q450 пропелерів з розмірами 26×3 см використали суттєво менші пропелери з розмірами 10×1,5 см.

### Програмне забезпечення системи фотопереслідування

Використовуючи бортовий комп'ютер Raspberry Pi3, склали програму фотозахоплення і переслідування мовою Python. При цьому основою програмного забезпечення становила операційна система Raspbian. На рис. 2 зображена блок-схема алгоритму фотозахоплення об'єкта і керування квадрокоптером при переслідуванні.

Після надання команди для пуску моторів (2) відбувається пошук зображення об'єкта на матриці камери (3) та його перетворення – проведення ряду операцій з метою надійного розпізнавання цього об'єкта (4). Якщо об'єкт розпізнано (5), програма обчислює параметри захопленого об'єкта (координати, розміри) (6) і передає команди автопілоту (7) для корегування траєкторії польоту. Від автопілота параметри польоту надаються на регулятори моторів і до осцилографа, при цьому лазерний тахометр записує швидкість обертання моторів (8).

Алгоритм знаходження об'єкта складається з ряду операцій. Для експериментальних досліджень використано колір об'єкта як основну характеристику при розпізнаванні. Процес перетворення передбачає перехід від кольорового (або в градаціях сірого) зображення до чорно-білого. Білі фігури означають предмети, колір яких знаходиться в межах потрібного. Розмір кожної білої фігури записується у масив contours. Застосовується функція `max()` для знаходження найбільшого контуру фігур. Найбільший контур вказує на розпізнаний об'єкт, який обводиться колом певного кольору, незалежно від форми об'єкта. Параметри цього кола висвітлюються у вікні програми на моніторі комп'ютера.

### Результати експериментальних досліджень

Вперше отримано часові залежності п'яти параметрів фотопереслідування і керування квадрокоптером. До них відносимо переміщення зображення червоного диска по осі X (пікселі), створені програмою число імпульсів K4, які подаються бортовим комп'ютером Raspberry через систему телеметрії на автопілот Pixhawk, ширину імпульсів, які формуються автопілотом Pixhawk (мілісекунди), швидкість обертання моторів (оберти за хвилину), переміщення зображення лазерної плями по осі X (пікселі).

Як видно з графіків рис. 3, залежності а) переміщення зображення червоного диска по осі X і б) числа імпульсів K4, в основному, синхронно повторюють один одного. Так, в межах від 8 до 12 с диск плавно переміщався справа наліво, при цьому зображення зміщувалося в межах 250–160 пікселів, тобто до центру матриці камери. При цьому обчислене число імпульсів K4 синхронно зменшувалося в межах 1530–1460. У



Рис. 2. Блок-схема алгоритму фотозахоплення і переслідування об'єкта

- 1 – початок програми, 2 – команда пуску моторів,  
 3 – отримання з відеокамери кадру,  
 4 – перетворення зображення і проведення ряду операцій з ним,  
 5 – перевірка чи об'єкт розпізнано на поточному кадрі,  
 6 – обчислення параметрів об'єкта та команд для повертання,  
 7 – подання команд автопілоту Pixhawk,  
 8 – подання інформації на осцилограф і тахометр

діапазоні часу 12–18 с диск не переміщався і число К4 не змінювало свого значення 1460. Після цього, в межах 18–22 с диск плавно переміщався направо, аж до положення зображення 280 пікселів. При цьому число імпульсів К4 синхронно збільшувалось до значення 1550. Затримки в часі числа К4 порівняно зі зміщенням X не спостерігається протягом одного циклу випробування.

Таким чином, отримані вперше результати свідчать про можливість продовження роботи у напрямку дослідження всіх параметрів, які характеризують систему фотозахоплення і переслідування.

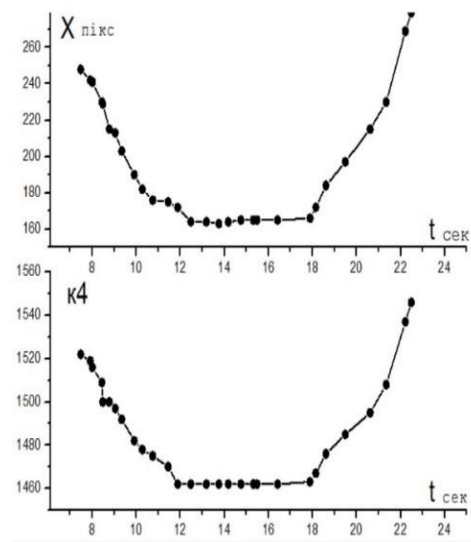


Рис. 3. Графіки часових залежностей  
 а) переміщення червоного диска по осі X,  
 б) створеного програмою числа імпульсів К4,  
 які подаються на автопілот PixHawk

## Висновки

Підсумовуючи результати експериментального випробування системи і програми фотопереслідування об'єкта – червоного диска в горизонтальній площині, можна стверджувати про те, що запропонована система і програмне забезпечення є достатніми для оцінки ступеня оптимізації процесів керування польотом безпілотного літального апарата при фотозахопленні і переслідуванні рухомого об'єкта у двомірному просторі. Отримані вперше часові залежності переміщення зображення диска і створені програмою числа імпульсів К4, які подаються бортовим комп'ютером Raspberry на автопілот PixHawk, свідчать про можливість продовження роботи у напрямку вивчення всіх параметрів, які характеризують повну систему фотозахоплення і переслідування, що стає метою наступних досліджень.

## Література

1. Чигінь В.І. Вдосконалення способу виявлення безпілотних літальних апаратів за результатами спектрального аналізу акустичних сигналів / В.І. Чигінь, М.М. Проценко, Ю.В. Шабатура, М.В. Бугайов // Військово-технічний збірник АСВ. – 2019. – № 20. – С. 58–63. – DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.58-63>
2. Чигінь В.І. Вимірювання координат безпілотних літальних об'єктів з використанням звукової і відеоапаратури / В.І. Чигінь, П.Я. Михайлишин // V Всеукраїнська наук.-техн. конф. у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2019» м. Славське, 29 січ. – 2 лют. 2019 р. – С. 10–12.
3. Федішин Н. Дослідження звукової системи виявлення літальних об'єктів з використанням гармонік в акустичному сигналі / Федішин Назар, Чигінь Василь // Міжнар. конф. молодих вчених та аспірантів "ІЕФ-2017 / Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород, 23–26 трав. 2017. – С. 13–15.
4. Чигінь В. Експериментальний безпілотний авіаційний комплекс для фотозахоплення / Василь Чигінь, Павло Михайлишин // Вісник Хмельницького Національного університету. – 2019. – № 2 (271). – С. 202–205.

5. Чигін В. Експериментальні дослідження безпілотного авіаційного комплексу при фото-захопленні / Василь Чигін, Павло Михайлишин // Вісник Хмельницького Національного університету. – 2020. – № 3(285). – С. 170–174.
6. Глотов В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для військових цілей / В. Глотов, А. Гуніна, Ю. Телещук // Фотограмметрія, геоінформаційні системи та картографія. – 2017. – Вип. 1 (33). – С. 139–146.
7. Лаврівський М.З. Розвиток безпілотних літальних апаратів в Україні та світі для виконання завдань цивільного захисту / М.З. Лаврівський // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 1. – С. 151–153.
8. Мясіщев О.А. Режими польоту контролерів польоту АРТ2.6 і Pixhawk БПЛА / О. А. Мясіщев, В.В. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 78–82.
9. Pixhawk [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://pixhawk.org/>
10. RaspberryPi [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.raspberrypi.org/products>
11. HardKernel [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.hardkernel.comshopodroid-c2>
12. Nastolnye-kompyutery Lattepana [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://hotline.uacomputer-nastolnye-kompyuterylattepana-lattepana-2g32gb>
13. ArduPilot [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/ardupilot/>
14. QgroundControl [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://qgroundcontrol.com/>
15. Автоматичне відстеження об'єкта на Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://robotos.in/uroki/avtomaticheskoe-otslezhivanie-ob-ekta-na-python>.
16. Ballon Finder [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.youtube.com/watch?v=yRmXwRqPesY&feature=youtu.be>.
17. Режим active track 2.0 на dji mavic 2 pro [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.youtube.com/watch?v=qEmd5g2fMcE&feature=youtu.be>
18. Експериментальна система DJI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vido.com.ua/article/12354/eksperimentalnaia-sistema-dji-pomoghaiet-priedotvrashchat-stolknovieniia-dronov-zalogh-biezopasnogho-vozdushnogho-dvizhieniia/>
19. dronov-zalogh-biezopasnogho-vozdushnogho-dvizhieniia/

#### References

1. Chyhin V.I. Vdoskonalennia sposobu vyivlennia bezpilotnykh litalnykh aparativ za rezultatamy spektralnoho analizu akustychnykh syhnaliv / V.I. Chyhin, M.M. Protsenko, Yu.V. Shabatura, M.V. Buhaiiov // Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk ASV. – 2019. – № 20. – S. 58–63. – DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.58-63>
2. Chyhin V.I. Vymiruvannia koordynat bezpilotnykh litalnykh ob'ektiv z vykorystanniam zvukovoi i videoaparatury / V.I. Chyhin, P.Ia. Mykhailshyn // V vseukrainska nauk.-tekh. konf. u tsaryni metrolohii «Technical Using of Measurement – 2019» m. Slavske, 29 sich. – 2 liut. 2019 r. – S. 10–12.
3. Fedyshyn N. Doslidzhennia zvukovoi systemy vyivlennia litalnykh ob'ektiv z vykorystanniam harmonik v akustychnomu syhnali / Fedysyn Nazar, Chyhin Vasyl // Mizhnar. konf. molodykh vchenykh ta aspirantiv "IEF-2017 / Instytut elektronnoi fizyky NAN Ukrainy, m. Uzhhorod, 23–26 trav. 2017. – S. 13–15.
4. Chyhin V. Eksperymentalnyi bezpilotnyi aviatsiinyi kompleks dlia fotozakhoplennia / Vasyl Chyhin, Pavlo Mykhailshyn // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 2 (271). – S. 202–205.
5. Chyhin V. Eksperymentalni doslidzhennia bezpilotnoho aviatsiinoho kompleksu pry fotozakhoplenni / Vasyl Chyhin, Pavlo Mykhailshyn // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2020. – № 3(285). – S. 170–174.
6. Hlotov V. Analiz mozhlyvostei zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia viiskovykh tsilei / V. Hlotov, A. Hunina, Yu. Teleshchuk // Fotogrammetriia, heoinformatsiini systemy ta kartohrafiia. – 2017. – Vyp. 1 (33). – S. 139–146.
7. Lavrivskiy M.Z. Rozvytok bezpilotnykh litalnykh aparativ v Ukraini ta sviti dlia vykonannia zavdan tsyvilnoho zakhystu / M.Z. Lavrivskiy // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2017. – T. 27, № 1. – S. 151–153.
8. Miasishchev O.A. Rezhymy polotu kontroleriv polotu ART2.6 i Pixhawk BPLA / O. A. Miasishchev, V.V. Shvets // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 1 (257). – S. 78–82.
9. Pixhawk [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://pixhawk.org/>
10. RaspberryPi [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.raspberrypi.org/products>
11. HardKernel [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.hardkernel.comshopodroid-c2>
12. Nastolnye-kompyutery Lattepana [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://hotline.uacomputer-nastolnye-kompyuterylattepana-lattepana-2g32gb>
13. ArduPilot [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ardupilot.org/ardupilot/>
14. QgroundControl [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://qgroundcontrol.com/>
15. Avtomatichne vidstehennia ob'ekta na Python [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://robotos.in/uroki/avtomaticheskoe-otslezhivanie-ob-ekta-na-python>.
16. Ballon Finder [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.youtube.com/watch?v=yRmXwRqPesY&feature=youtu.be>.
17. Rezhym active track 2.0 na dji mavic 2 pro [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.youtube.com/watch?v=qEmd5g2fMcE&feature=youtu.be>
18. Eksperymentalna systema DJI [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://vido.com.ua/article/12354/eksperimentalnaia-sistema-dji-pomoghaiet-priedotvrashchat-stolknovieniia-dronov-zalogh-biezopasnogho-vozdushnogho-dvizhieniia/>

Рецензія/Peer review : 14.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.



## КОНЦЕПЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ПЛАТІЖНОЇ СИСТЕМИ З ВЛАСНОЮ ЦИФРОВОЮ ВАЛЮТОЮ НА БАЗІ БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМИ ETHEREUM

*У роботі представлено концепції проектування децентралізованої платіжної системи з власною криптовалютою на базі блокчейн-платформи Ethereum. У дослідженні удосконалено метод створення цифрових платіжних засобів шляхом проектування комплексного рішення, яке складається з клієнтської частини та системи розумних контрактів. Обґрунтовано доцільність проектування власної обмінної платформи поряд з інтеграцією зовнішніх криптовалютних бірж для можливості купівлі розробленої криптовалюти за інші популярні цифрові валюти. Удосконалено методи опрацювання транзакцій, що дозволило оптимізувати пропускну здатність системи у порівнянні з існуючими рішеннями. Розглянуто алгоритми функціонування блокчейн-систем та обрано оптимальний алгоритм консенсусу. Результатом дослідження є покращені методи проектування децентралізованих платіжних систем.*

*Ключові слова: блокчейн, децентралізована платіжна система, цифрова валюта.*

G. I. RADELCHUK, M. L. KHOROSHUN

Khmelnitsky National University

## CONCEPTS OF DESIGNING A DECENTRALIZED PAYMENT SYSTEM WITH ITS OWN DIGITAL CURRENCY BASED ON THE BLOCKCHAIN PLATFORM ETHEREUM

*The study is devoted to the research of design concepts for the development of decentralized payment systems with its own cryptocurrency based on the blockchain platform Ethereum. The study examines the problems associated with traditional models of decentralized payment systems, analyzes the shortcomings in the industry, and proposes approaches to their solution. During the research, the method of creating digital assets was improved by designing a comprehensive solution consisting of a smart contracts part and a web-client part. Also, the expediency of designing its own exchange platform along with the integration of external cryptocurrency exchanges for the possibility of buying developed cryptocurrency for other popular digital currencies was substantiated and visual schemes of the traditional payment system structure with the method of exchange platform integration were presented. The paper substantiates the use of dynamic block size as a method of optimizing system efficiency, which can increase or decrease the maximum block size at the algorithm level, depending on the number of pending transactions, thus providing the required level of bandwidth. Also, the need for one-to-many transfers is justified, which involves the development of new methods of smart contracts for the cryptocurrency transfer from one user to a large number of addresses within a single transaction in order to reduce the load on the network. The problem of high energy consumption required for the functioning of the consensus system in the traditional model was solved by developing a model based on protocols that do not use the computational power of participants as a parameter to maintain consensus. Thus, the results of this study present improved methods for designing decentralized payment systems. The obtained results and generated recommendations can be used in the design of decentralized payment systems.*

*Keywords: blockchain, decentralized payment system, digital currency.*

### Вступ. Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку людства гроші втратили товарну сутність і сприймаються лише як розрахункова одиниця. Але еволюція грошей продовжується – паперові гроші перетворюються на цифрові, і все більше виокремлюються децентралізовані платіжні системи як альтернатива центральному банку. Децентралізовані платіжні системи дозволяють виключити банківську систему з процесу емісії грошей і проведення транзакцій та довірити це комп'ютерним алгоритмам. Такі системи не мають обмежень у формуванні обмінних курсів та здійсненні операцій та дозволяють виконувати вільне переміщення коштів. Транзакції у таких системах не піддаються цензурі та є незворотними. Поява децентралізованих платіжних систем продемонструвала, що криптовалюти можуть бути ефективним інструментом інвестування. Випуск віртуальної цифрової валюти, яку далі можна використовувати як платіжний засіб усередині сервісу або компанії, виявився найпростішим і найпривабливішим способом як для залучення інвестицій, так і для інвестування. Таким чином, з'явився попит на створення децентралізованих платіжних систем з власними цифровими валютами. Зазвичай, криптовалюта в таких системах виступає в ролі внутрішньої валюти додатку. Однак, методи реалізації подібних систем різняться за показниками ефективності, безпеки коштів та цінністю валюти на глобальному ринку.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Криптовалюти – одна з найновітніших технологій у сфері фінансів. Сьогодні наукова спільнота активно проводить дослідження у сфері криптовалютних платіжних систем. Серед робіт на тему криптовалют у першу чергу варто відзначити працю [1], у якій автори детально дослідили більше сотні популярних криптовалют та їхні ключові характеристики, а також ситуацію на ринку криптовалют у цілому та на криптовалютних біржах зокрема. У роботі [2] дослідники розглянули ефективність алгоритму консенсусу Proof-of-Work (PoW), який застосовується у більше ніж 90 % сучасних децентралізованих систем. У роботі [3] здійснено ґрунтовний аналіз популярних криптовалют та визначені їхні переваги та недоліки у порівнянні з фіатними валютами.

## Виділення невіршених частин загальної проблеми

У передових економіках світу цифрові платіжні системи розвиваються активними темпами, і безумовною перевагою криптовалют є можливість здійснення прямих платежів між користувачами, відсутність національних кордонів для здійснення переказів та зниження операційних витрат у порівнянні з традиційними банківськими системами [4]. Але, окрім внутрішніх витрат за перекази коштів між користувачами мережі для здійснення оплати в криптовалюті, користувачу, який не має її у своєму розпорядженні, необхідно спершу обміняти наявні у нього гроші на криптовалюту, що потребує використання онлайн-бірж або обмінників. Така конвертація валют містить додаткові комісійні витрати. Наприклад, найпопулярніша в Україні онлайн-біржа KUNA встановлює 1,5 % комісійних від суми платежу при купівлі криптовалюти за фіатні гроші та 0,25 % на обмін криптовалют [5]. При здійсненні платежу у криптовалюті з рахунку на біржі встановлюються фіксовані комісійні. Таким чином, при здійсненні платежів із використанням криптовалют транзакційні витрати всередині децентралізованої платіжної системи можуть бути досить низькими та, враховуючи можливості транскордонного переміщення коштів, більш привабливими у порівнянні із банківськими платежами. Але якщо користувачу необхідно здійснювати обмін або купувати криптовалюту для здійснення такого платежу, то додаткові комісійні витрати можуть перевищувати аналогічні витрати у банківській системі. Також однією з головних проблем для децентралізованих платіжних систем залишається масштабованість. Наприклад, у рамках протоколу Bitcoin блок транзакцій обмежений розміром в 1 мегабайт і швидкість їх обробки становить приблизно сім операцій в секунду (у той же час Visa обробляє в середньому 2000 операцій за секунду). Розмір блоку впливає на кількість транзакцій, які можна додати у блок. Протокол Bitcoin передбачає, що блок формується в середньому 10 хв, і при збільшенні активності у мережі збільшуються як комісійні, що пропонуються відправниками, так і час підтвердження окремої транзакції вузлами мережі.

Ще одним важливим моментом при здійсненні платежів є спосіб підтвердження транзакцій. При використанні централізованих банківських платіжних систем банк виступає посередником і гарантом переміщення коштів між рахунками клієнтів. У децентралізованих платіжних системах визначення, чи є транзакція вірною, відбувається на основі консенсусу учасників такої системи (тобто її підтвердження здійснюється «більшістю голосів»). Понад 90% існуючих систем використовують алгоритм консенсусу Proof-of-Work [2]. Суть цього алгоритму зводиться до двох основних пунктів: необхідності виконання певного, досить складного і тривалого завдання; можливості швидко і легко перевірити результат.

Необхідність постійного розрахунку рішення робить вирішення задачі дуже ресурсомістким, у зв'язку з чим десятки тисяч комп'ютерів витрачають власні обчислювальні ресурси на виконання протоколу консенсусу і при цьому лише один з них наприкінці отримує можливість створити блок. У результаті це призводить до великих енергозатрат, що є проблемою.

Таким чином, проаналізувавши наукові дослідження та публікації, можна зробити висновок, що основними проблемами, пов'язаними з існуючими децентралізованими платіжними системами є наступні: низька швидкість проходження транзакцій; необхідність залучення третьої сторони (криптовалютних бірж) для купівлі/обміну власної криптовалюти; функціонування системи на алгоритмі консенсусу Proof-of-Work, що вимагає значних енергозатрат. Тому основною задачею даного дослідження є покращення методів створення децентралізованих систем задля вирішення існуючих проблем.

## Формулювання цілей

Для проведення дослідження сформульовано наступні цілі: провести теоретичний аналіз процедур функціонування децентралізованих платіжних систем; охарактеризувати базову модель організації процесів функціонування децентралізованих платіжних систем; описати існуючі механізми реалізації децентралізованих платіжних систем; виділити наявні проблеми в галузі та описати шляхи їх вирішення; покращити існуючі алгоритми функціонування децентралізованих систем.

## Виклад основного матеріалу

Децентралізована платіжна система – цифрова пірингова платіжна система, яка використовує криптовалюту як розрахункову одиницю для обліку операцій. Така комп'ютерна мережа заснована на рівноправ'ї учасників (тобто відсутні виділені сервери), а кожний вузол є як клієнтом, так і виконує функції сервера. На відміну від архітектури «клієнт-сервер» така організація дозволяє зберігати працездатність мережі при будь-якій кількості та будь-якому поєднанні доступних вузлів. Функціонування та захист системи забезпечуються використанням криптографічних методів. При цьому вся інформація про транзакції між адресами системи доступна у відкритому вигляді. Серед популярних децентралізованих платіжних систем можна виділити мережі Bitcoin, Litecoin, Ethereum, Stellar, серед яких найпоширенішою є Ethereum.

Традиційні децентралізовані платіжні системи складаються з двох архітектурних компонентів. Основна логіка роботи системи працює на блокчейн-платформі (наприклад, на розумних контрактах). Для забезпечення зручних інтерфейсів розробляється вебчастина, до складу якої найчастіше входять наступні інструменти: оглядач блоків і транзакцій для показу статистичної та службової інформації про платіжну систему; відділ адміністрування, де здійснюється керування платформою; криптогаманець, за допомогою якого кінцевий користувач здійснює операції надсилання криптовалютних коштів чи отримує інформацію про їх отримання.

При такій формі організації системи існує очевидна проблема – після закінчення емітування монет у мережі користувачі можуть отримати криптовалюту, лише купивши її в інших учасників системи або на криптовалютних біржах. Це призводить до появи небажаних комісій та додаткових ризиків для користувачів, які змушені користуватись сторонніми додатками для придбання криптовалюти. Рішенням цієї проблеми може стати розробка власної обмінної платформи у комплексі однієї платіжної системи. Таким чином, користувач матиме вибір – здійснювати переказ через зовнішні біржі на ринку чи скористатись офіційною обмінною платформою. В той час, як на офіційній обмінній платформі ціна на криптовалюту буде вищою за ринкову, користувачі, які нею користуватимуться, будуть впевнені у безпеці проведення своїх операцій, оскільки їм не потрібно покладатись на сторонні платформи. На рис. 1 наочно продемонстровано схему платформи і те, як компонент обмінної системи інтегрується в неї.

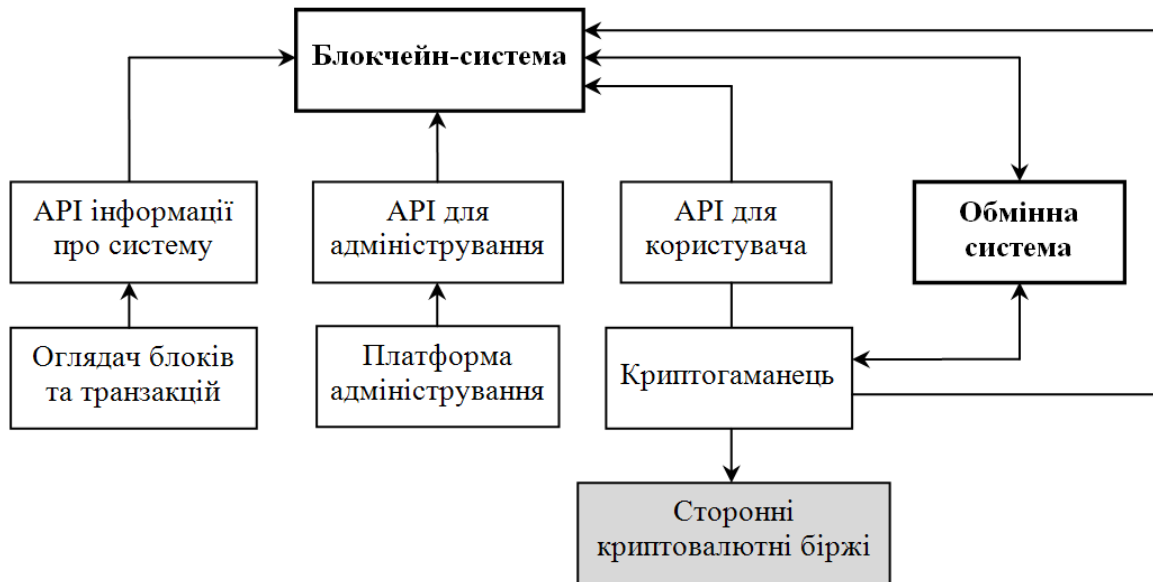


Рис. 1. Взаємодія компонентів системи

Розглянемо детально компоненти на представленій схемі. Очевидно, що основним її компонентом є блокчейн-система, яку використовують інші частини платформи для виконання операцій. Блокчейн-система реалізує головний функціонал системи – збереження даних про криптовалюту та користувацькі рахунки, емітування монет, опрацювання переказів між користувачами. Інші компоненти системи лише звертаються до методів розумних контрактів для отримання даних чи для виконання певних операцій.

В той час, як операції для отримання даних з блокчейну відбуваються за допомогою звичайних методів читання бази даних смарт-контрактів (які миттєво повертають результат), виконання операцій на модифікацію існуючих даних (таких, наприклад, як перекази між рахунками) відбуваються за визначеним алгоритмом (рис. 2). Всі транзакції у системі зберігаються у спеціальних структурах даних – блоках. Під час роботи системи через деякий визначений часовий інтервал у блокчейн додається новий блок. Цей блок може бути порожнім або містити інформацію про деяку кількість транзакцій, обмежену розміром блоку. Кожний наступний блок зберігає посилання на попередній, формуючи таким чином єдиний нерозривний ланцюг. При додаванні нового блоку до ланцюга, транзакції, що містяться в ньому, по чергові виконуються на розумних контрактах.

Очевидно, що з таким алгоритмом опрацювання транзакцій неможливо здійснювати горизонтальне масштабування системи. Незважаючи на те, що блокчейн є розподіленою системою, у підсумкову базу даних записується лише один блок, від одного вузла, тому що опрацювання блоків може здійснювати лише один канал обслуговування. Оскільки збільшення кількості каналів обробки є неможливим, то для підвищення пропускної здатності системи у роботі запропоновані наступні методи оптимізації.

**1. Використання динамічного розміру блоку.** Кожний блок у системі має фактичний та максимальний розмір. Фактичний розмір блоку відповідає об'єму транзакцій, які в ньому знаходяться. Максимальний розмір блоку відповідає максимальному значенню сукупного розміру транзакцій, які можуть розміститися в ньому, та визначається системою під час її старту. Передбачивши можливість збільшення максимального розміру блоку вже після запуску мережі, можна масштабувати пропускну здатність системи: при збільшенні навантаження на систему значення максимального розміру блоку буде зростати, а при зменшенні навантаження – зменшуватись. Таким чином, з'явиться змога опрацювати більшу кількість транзакцій за той самий часовий період. Реалізація цього функціоналу полягатиме у підтриманні консенсусної зміни конфігурацій. Створювачу блоків має бути надана можливість змінювати максимальний розмір для свого блоку, але не більше ніж на 1% від розміру попереднього блоку. Таким чином, значення максимального розміру блоку в системі відповідатиме навантаженню на систему.

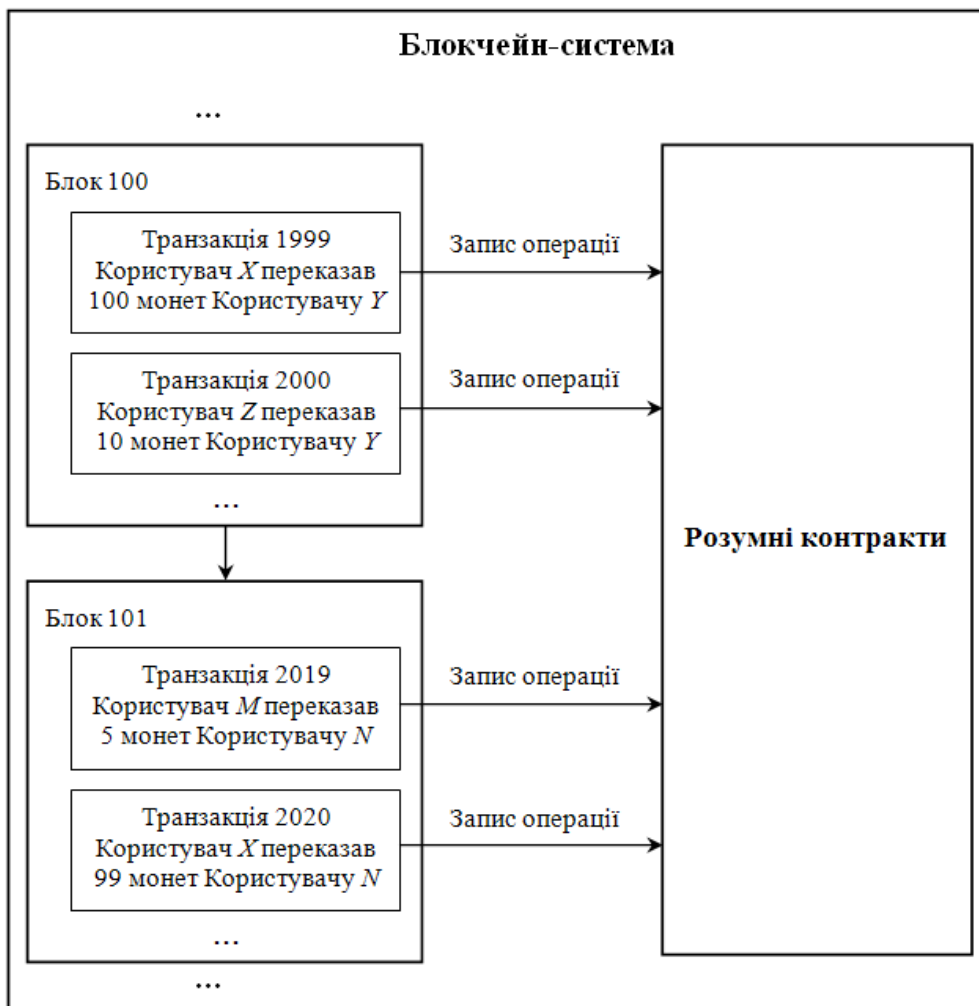


Рис. 2. Опрацювання транзакцій всередині блокчейн-системи

**2. Перекази «один до багатьох».** Також для того, щоб зменшити навантаження на мережу, доцільно розробити функціонал виклику трансферу криптовалюти, при якому в якості вхідних аргументів методу смарт-контракту можна було б передати список адрес отримувачів та необхідні суми переказу кожному з отримувачів. Таким чином, при здійсненні переказу на значну кількість адрес, користувач зможе це зробити всередині лише однієї транзакції, що зменшить навантаження на мережу.

У процесі застосування технології блокчейн виникає також питання підбору ефективного протоколу консенсусу. Консенсус блокчейна полягає в тому, що всі вузли підтримують однаковий розподілений реєстр. У традиційній архітектурі програмного забезпечення це не є проблемою через існування центрального сервера, з яким узгоджуються інші вузли. Однак, у розподіленій мережі (такій як блокчейн) кожен вузол є і хостом, і сервером, і, щоб досягти консенсусу, йому потрібно обмінюватися інформацією з іншими вузлами. Інколи деякі вузли можуть працювати у режимі офлайн. Окрім того, можуть з'явитись деякі шкідливі вузли, які будуть негативно впливати на процес консенсусу і, навіть, можуть зашкодити йому. Тому потрібен протокол, який не допустить виникнення подібних ситуацій та мінімізує негативний вплив шкідливих вузлів таким чином, щоб вони не впливали на кінцевий результат консенсусу.

Аналіз предметної області показав, що близько 90% існуючих децентралізованих систем використовують алгоритм консенсусу Proof-of-Work. Однак, значним недоліком PoW-алгоритму є те, що його функціонування потребує постійних значних затрат електроенергії на процес створення блоків. Цей недолік яскраво видно на прикладі Біткоїна, який реалізує вказаний алгоритм. За один рік на функціонування мережі витрачається більше електроенергії, ніж використовує Швейцарія за цей же період. Проблема значних енергозатрат можна вирішити шляхом розробки моделі на основі протоколів, що не використовують обчислювальну здатність учасників як параметр підтримання консенсусу. У роботі [6] автори здійснили порівняльний аналіз найпопулярніших алгоритмів консенсусу, розглянувши методи обчислення значень основних характеристик алгоритмів: відмовостійкість, ресурсоємність, масштабованість та придатність для публічних мереж. На основі результатів цього аналізу сформовано порівняльну таблицю 1.

Як бачимо з табл. 1, серед алгоритмів, придатних для публічної мережі, алгоритми PoW і PoS (Proof of Stake) відрізняються лише за показником ресурсоємності. При цьому PoS набагато менш ресурсоємний, тому він є кращим вибором для публічного блокчейну. Вибір цього алгоритму консенсу для системи дозволить зменшити її ресурсоємність та забезпечить необхідними інструментами персоналізації.

**Характеристика різних алгоритмів консенсусу**

Характеристика	PoW	PoS	PBFT	Ripple
Тип алгоритму	Ймовірно-кінцевий	Ймовірно-кінцевий	Абсолютної остаточності	Абсолютної остаточності
Відмовостійкість	50 %	50 %	33 %	20 %
Ресурсоємність	Висока	Середня	Низька	Низька
Масштабованість	Добра	Добра	Погана	Погана
Придатність для публічних мереж	Придатний	Придатний	Не придатний	Придатний

**Висновки**

Таким чином, у роботі досліджено процедури залучення криптовалютних інвестицій, охарактеризовано структуру предметної області та виділено основні невирішені проблеми. Розглянуто та описано моделі, за якими працюють традиційні децентралізовані платіжні системи. Запроновано методи та рішення, які дозволять оптимізувати їх роботу: підвищити швидкість проходження транзакцій; забезпечити відсутність необхідності залучення «третьої» сторони (сторонніх криптовалютних бірж) для купівлі/продажу власної криптовалюти; оптимізувати використання енергозатрат для підтримки функціонування системи шляхом вибору та застосування ефективного алгоритму консенсусу.

**Література**

1. Hileman G. Global cryptocurrency benchmarking study / G. Hileman, M. Rauchs. – Cambridge, 2017. – 114 p.
2. Gervais A. On the Security and Performance of Proof of Work Blockchains / A. Gervais, G. Karame, K. Wüst etc. // CCS '16: Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – 2016. – № 10. – P. 3–16.
3. Dorofeyev M. Trends and Prospects for the Development of Blockchain and Cryptocurrencies in the Digital Economy / M. Dorofeyev, M. Ksov, V. Ponkratov // European Research Studies Journal. – 2018. – № 21. – P. 429–445.
4. Олешко А. А. Інноваційні тенденції розвитку безготівкової економіки / А. А. Олешко // Інвестиції: практика та досвід. – 2018. – № 10. – С. 22–25.
5. Бойко В. П. Переваги та недоліки використання децентралізованих платіжних систем як інноваційного способу транскордонних розрахунків / В. П. Бойко // Інвестиції: практика та досвід. – 2019. – № 8. – С. 75–82.
6. Золотарьова І. О. Інформаційні технології оптимізації роботи приватного блокчейн за допомогою вибору алгоритму консенсусу / І. О. Золотарьова, Г. О. Плеханова // Системи обробки інформації. – 2020. – № 1. – С. 107–114.

**References**

1. Hileman G. Global cryptocurrency benchmarking study / G. Hileman, M. Rauchs. – Cambridge, 2017. – 114 p.
2. Gervais A. On the Security and Performance of Proof of Work Blockchains / A. Gervais, G. Karame, K. Wüst etc. // CCS '16: Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – 2016. – № 10. – P. 3–16.
3. Dorofeyev M. Trends and Prospects for the Development of Blockchain and Cryptocurrencies in the Digital Economy / M. Dorofeyev, M. Ksov, V. Ponkratov etc. // European Research Studies Journal. – 2018. – № 21. – P. 429–445.
4. Oleshko A. A. Innovatsiyini tendentsiyi rozvytku bezhotivkovoyi ekonomiky / A. A. Oleshko // Investytsiyi: praktyka ta dosvid. – 2018. – № 10. – S. 22–25.
5. Boyko V. P. Perevahy ta nedoliky vykorystannya detsentralizovanykh platizhnykh system yak innovatsiyynoho sposobu transkordonnnykh rozrakhunkiv / V. P. Boyko // Investytsiyi: praktyka ta dosvid. – 2019. – № 8. – S. 75–82.
6. Zolotar'ova I. O. Informatsiyini tekhnolohiyi optymizatsiyi roboty pryvatnogo blokcheyn za dopomohoyu vyboru alhorytmu konsensusu / I. O. Zolotar'ova, H. O. Plekhanova // Systemy obrobky informatsiyi. – 2020. – № 1. – S. 107–114.

Рецензія/Peer review : 10.10.2020 p.

Надрукована/Printed :02.11.2020 p.

**МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

DOI 10.31891/2307-5732-2020-287-4-94-99

УДК 621.396.6.019.3 : 620.172.21

І.І. КОВТУН, С.А. ПЕТРАЩУК, Ю.М. БОЙКО, Б.О. ПОГОРІЛИЙ

Хмельницький національний університет

**НЕРУЙНІВНА ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ  
МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ**

Стаття присвячена виявленню інформативних властивостей параметрів сигналів акустичної емісії і їх зв'язку із механічними характеристиками різних матеріалів і деталей під неруйнівним впливом різних навантажень та розробці методик неруйнівного контролю, діагностування та прогнозування їх міцності та місця майбутнього руйнування. Об'єктами досліджень служать зразки різних матеріалів, як однорідних, так і неоднорідних, в тому числі і композитів застосовуваних в електронній техніці для виготовлення несівних елементів конструкцій і електронних компонентів. Це – плоскі зразки сталі Ст3 в стадії промислової поставки та відрізки елементів несучих конструкцій, виготовлені з неметалічного матеріалу – склопластику. В результаті одночасної і синхронної реєстрації та обробки механічних і акустико-емісійних параметрів, отриманих при статичному навантаженні зразків, були отримані наочні графічні залежності – акустограми, які показують зміну параметрів сигналів АЕ від напруження і розподіл джерел сигналів АЕ по довжині зразка. Випробування здійснювались методом статичного навантаження на розтяг і згин.

Ключові слова: акустична емісія, міцність, неруйнівна діагностика, розтяг, згин

І.І. KOVTUN, S.A. PETRASCHUK, J.M. BOIKO, B.O. POGORILYI

Khmelnyskyi National University

**NON-DESTRUCTIVE TECHNICAL DIAGNOSTICS OF ELECTRONIC MATERIALS  
BY METHOD OF ACOUSTIC EMISSION**

Real materials always have numerous variations from a perfect structure associated with instability of manufacturing technology, which entails strength instability of produced parts what creates a range of problems, especially in manufacturing bearing structural components in electronics and other branches of industry. Standard laboratory tests of material samples or full-scale products conducted by simple types of loading – tension and bending demonstrated possibility to reveal relationships between parameters of acoustic emission, stress in the elastic range of stress and destructive stress and use them for non-destructive diagnostics of strength. The objects of the research are flat samples of steel St3 at original production state and sections of components being load-bearing structures made of non-metallic material – fiberglass. Based on the obtained relationships of acoustic emission parameters, stress in the elastic range of stress and destructive stress, the following methods have been developed for non-destructive testing, diagnostics and strength prediction during non-destructive testing by static load. Loading under proportionality limit produces acoustic emission parameters exceeding the control level, the sample (part) is recognized as defective and its ultimate strength is determined using the prediction coefficient. Linear location of acoustic emission sources according to the maximum total count gives a linear coordinate, along the length of the sample, which locates the future destruction. Method for non-destructive diagnostics and strength prediction of fiberglass samples used in manufacturing structural components in electronic engineering has been designed for non-destructive testing by static bending load. Parameters that estimate the ultimate strength of samples are amplitude and activity of acoustic emission signals. Parameters of acoustic emission signals exceeding the reference level indicate of defective sample, which is then rejected, otherwise its strength complies with standard.

Keywords: acoustic emission, strength, non-destructive diagnostics, tension, bend.

**Вступ**

Реальні матеріали завжди мають численні відхилення від ідеальної структури пов'язані із нестабільністю технології їх виробництва, що спричиняє нестабільність міцності деталей, що випускаються і створює ряд проблем, особливо при виготовленні несівних елементів конструкцій в електроніці та інших галузях техніки. Одним із шляхів виявлення цих відхилень і недосконалостей є дослідження сигналів акустичної емісії (АЕ), які випромінюються дефектами структури матеріалу в процесі їх розвитку під дією навантаження. Виявлення інформативних властивостей параметрів сигналів акустичної емісії, їх зв'язку із механічними характеристиками різних матеріалів і деталей під неруйнівним впливом різних навантажень і розробка методик неруйнівного контролю, діагностування та прогнозування міцності та місця майбутнього руйнування було метою представлених досліджень.

Об'єктами досліджень були зразки різних матеріалів, як однорідних, так і неоднорідних, в тому числі і композитів застосовуваних в електронній техніці для виготовлення несівних елементів конструкцій і електронних компонентів. Це плоскі зразки сталі Ст3 в стадії промислової поставки та відрізки елементів несучих конструкцій, виготовлені з неметалічного матеріалу – склопластику.

**Акустична емісія і міцність металевих зразків**

Дослідження акустико-емісійної поведінки сталі проводилося при випробуванні партії з 80-и плоских зразків сталі Ст3, що мають традиційну форму і виготовлені за стандартом TGL 0-50125 (рис. 1). Випробування всіх зразків проводилося шляхом статичного навантаження розтягуванням на випробувальній машині IP 5057-50 зі швидкістю 5 мм/хв.

Для реєстрації та обробки параметрів сигналів АЕ використовувався програмно-апаратний комплекс АЕ [1]. Реєстрація АЕ велася в діапазоні частот від 20 до 2000 кГц і в діапазоні амплітуд від 60 до 6000 мкВ. Для зняття сигналів АЕ п'єзоелектричні перетворювачі (датчики) кріпилися на зразку, як показано на рис. 1, за допомогою струбцин, через шар акустичної мастила.

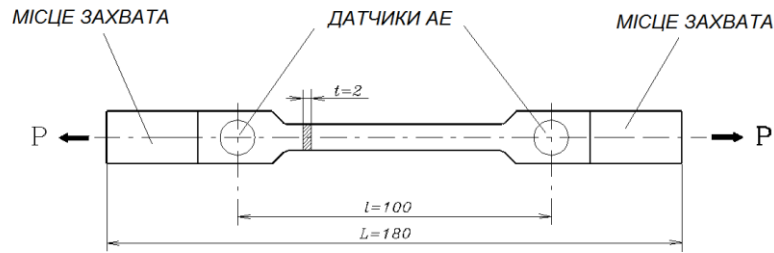


Рис. 1. Випробування зразків сталі механічним навантаженням на розтяг із застосуванням методу акустичної емісії

В результаті одночасного і синхронного зняття і обробки механічних та акустико-емісійних параметрів, отриманих при статичному навантаженні зразків до руйнування, були отримані наочні графічні залежності (акустограми), що показують зміну параметрів сигналів АЕ від напруження і розподіл джерел сигналів АЕ по довжині зразка

На рис. 2, а представлені тривимірні акустограми амплітуди і потужності сигналів АЕ, зразка з границею міцності нижче встановленої за Держстандартом (380–470 МПа), які наочно показують розвиток дефектів структури матеріалу сталевого зразка одночасно по його довжині і в часі навантаження.

Важливим фактом, встановленим при аналізі отриманих акустограм, є наявність сигналів АЕ в зоні пружності, рис. 2, б. Як показують досліді, активність сигналів АЕ на ділянці пружності збільшується пропорційно навантаженню і при досягненні матеріалом границі текучості приймає максимальне значення.

Подібний характер АЕ при збільшенні деформації може бути викликаний переходом основної маси матеріалу з пружного стану в пластичне (лавиноподібний зрив і переміщення дислокацій, утворення систем смуг ковзання і т.д.) [2, 3]. Цей процес є свідченням розвитку і протікання в матеріалі деформацій Чернова-Людерса і виражається в утворенні площадки текучості [4].

На границі текучості активність АЕ досягає свого пікового значення – 40–50 імп/с, або в перерахунку на одиницю об'єму робочої частини зразка  $20\text{--}25 \times 10^{-3}$  імп/с·мм<sup>3</sup>. Дану величину будемо надалі називати питомою активністю і позначати  $\delta_N$ . У роботах [2, 5] показана прямо-пропорційна залежність між активністю АЕ і об'ємом робочої частини матеріалу. Тому на практиці більш зручним є використання питомої активності, так як з'являється можливість характеризувати зразки різного об'єму.

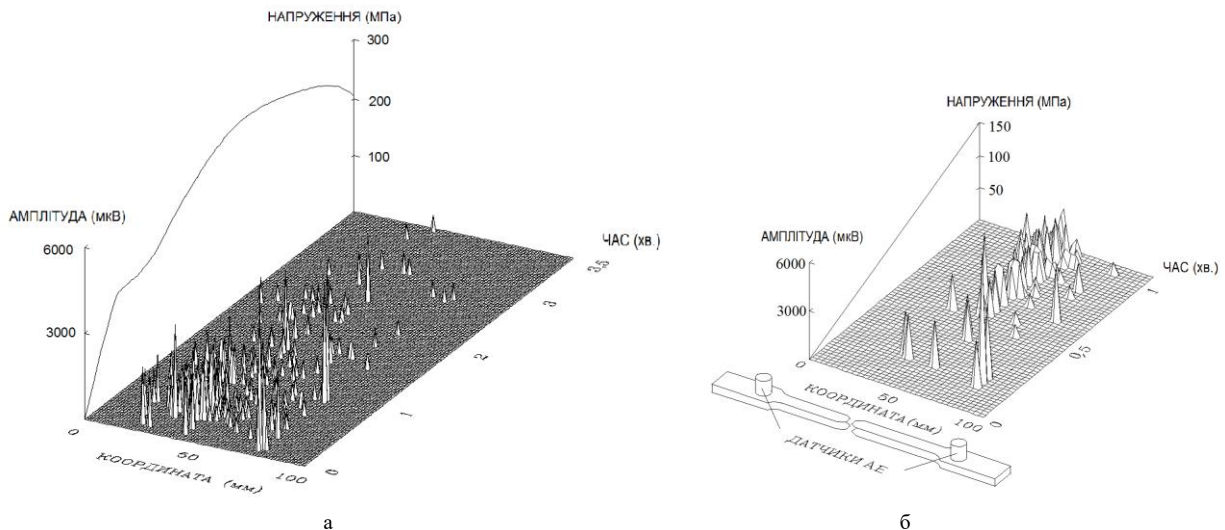


Рис. 2. Акустограми амплітуди сигналів АЕ при руйнівному (а) та неруйнівному (б) навантаженні зразка сталі

Досягнення матеріалом кривої зміцнення характеризується спадом випромінювання сигналів (іноді до нуля) (рис. 2, а), що може бути пояснено тим, що основна частина матеріалу вже пройшла область пластичних деформацій, тим самим створивши бар'єри для руху нових блоків дислокацій, смуг ковзань і т. д.

Після досягнення границі міцності і в момент руйнування знову можуть виникнути сплески сигналів АЕ, вже пов'язані з катастрофічним руйнуванням матеріалу, причиною якого може бути утворення і розвиток магістральної тріщини [5].

Розподіл загального рахунку сигналів, який отримано підсумковим підрахунком сигналів, що виникають в кожному міліметрі зразка, має цілком певний характер, що дозволяє побачити місце майбутнього руйнування ще при безпечних навантаженнях. Місце майбутнього розриву, відповідне лінійній

координаті, в якій загальний рахунок сигналів АЕ має максимум. Це дає підставу стверджувати, що процеси початку руйнування або утворення шийки зразка фіксуються методом АЕ при безпечному навантаженні задовго до того, коли шийку можна виявити традиційними методами, описаними в літературі [4, 6].

Таким чином, застосування інформативного параметра АЕ – загального рахунку сигналів при безпечному для міцності навантаженні відкриває можливість неруйнівної діагностики місця майбутнього руйнування. Крива залежності активності сигналів АЕ від відносної деформації, характерна для тестованих зразків, представлена на рис. 3. Відповідно до [4] криві такого типу властиві також для вуглецевих сталей армко-заліза, металів з ГЦК-решіткою, латуні, алюмінієвих сплавів і сплавів на основі нікелю.

Найбільш інформативною частиною цієї кривої є перший максимум активності АЕ (рис. 3). Як показали матеріали випробувань, цей максимум стабільно відповідає границі текучості металу і може бути використаний для її точного визначення.

Однак, зазначена оцінка міцності параметрами АЕ є руйнівною, бажано ж створити умови для неруйнівного діагностування механічних параметрів, що можливо при випробуванні зразків до безпечного для міцності рівня напружень, наприклад границі пропорційності.

Більший практичний інтерес і кращу кореляцію з параметром АЕ (активністю сигналів АЕ) представляє відносна величина, яка згодом отримала назву коефіцієнта прогнозування міцності:

$$K = \sigma_0 / \sigma_{пр2}, \tag{1}$$

де  $\sigma_0$  – границя міцності зразка,  $\sigma_{пр2}$  – напруження прогнозування, що знаходиться в межах  $0 < \sigma_{пр2} \leq \sigma_{пц}$ , де  $\sigma_{пц}$  – границя пропорційності матеріалу.

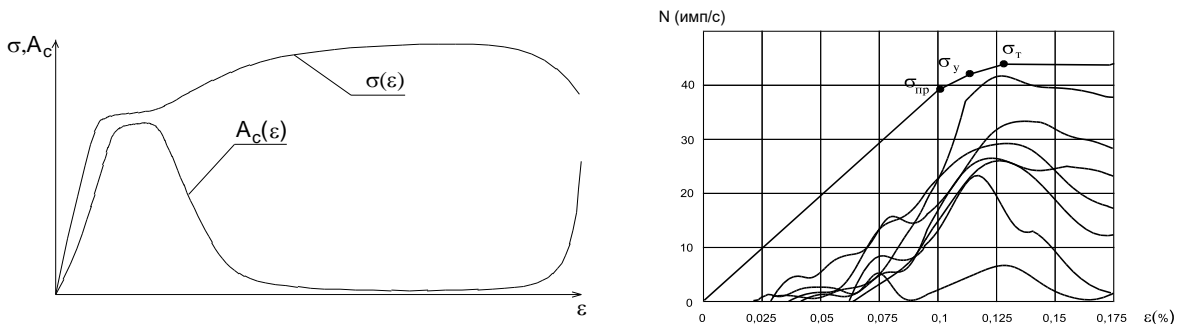


Рис. 3. Залежність активності АЕ (Ac) і напруження (σ) від відносної деформації (ε)

Користуючись цією залежністю при безпечному тестуванні сталевих зразків до напруження, що не перевищує границю пропорційності сталі, за зареєстрованим значенням активності сигналів АЕ  $N$  і відповідному їй напруженню  $\sigma_{пр2}$ , можна визначити  $K$  і розрахувати (спрогнозувати) границю міцності цього зразка. Прогностична границя міцності, відповідно до (1), визначається за формулою:

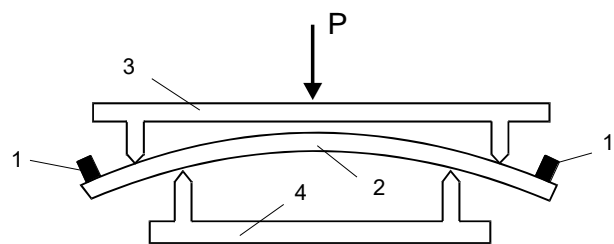
$$\sigma_{пр2}^2 = K \cdot \sigma_{пр2}, \tag{2}$$

Залежність, на якій побудовано неруйнівне діагностування і прогнозування міцності сталевих зразків, була отримана в припущенні наявності лінійної кореляційної залежності між коефіцієнтом прогнозування міцності та активністю сигналів АЕ в зоні навантаження до границі пропорційності сталевих зразків.

У розрахунках за формулою (2) необхідно враховувати цей реально існуючий розкид, тому що  $K$ , яке визначається за (1) приймається меншим на величину  $\Delta$ , тобто  $K_{min} = K - \Delta$ , тоді можлива помилка в прогнозуванні піде в запас міцності. Необхідно відзначити, що подібний вибір  $K$  є одним з можливих; в залежності від того наскільки відповідальним є тестований об'єкт можна приймати і більш низькі значення  $K$  (з отриманої вибірки), збільшуючи тим самим запас міцності, але при цьому, зрозуміло, знижуючи точність прогнозування.

**Акустична емісія і міцність відрізків елементів несучих конструкцій, виготовлених зі склопластику**

Акустико-емісійні дослідження склопластикових заготовок (зразків) при статичному навантаженні на згин стало частиною рішення задачі зі створення методик неруйнівного діагностування і прогнозування міцності деталей в електронній промисловості. Випробування проводилися за допомогою випробувальної машини IP5057-50 навантаженням на згин (чотириточковий згин) з постійною швидкістю 5 мм/хв (рис. 4).



1 – п'єзоелектричний датчик; 2 – склопластиковий зразок; 3 – пуансон; 4 – опора

Рис. 4. Схема навантаження зразків склопластику

Проведені випробування дозволили отримати залежності параметрів сигналів АЕ від навантаження і лінійної координати по довжині зразків. На рис. 5 (а) показані типові акустограми амплітуди і на рис. 5 (б) – активності сигналів АЕ, отримані при випробуванні склопластикових зразків.



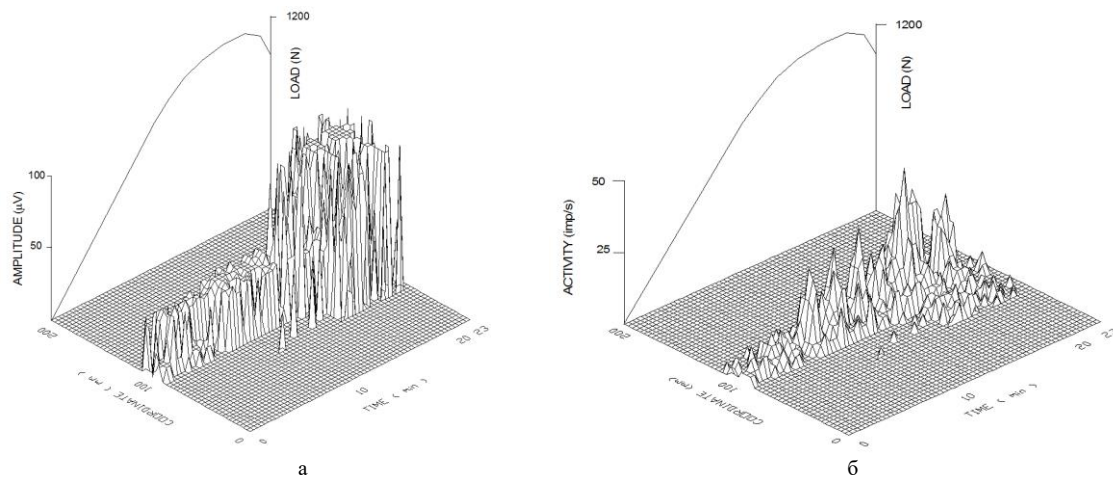


Рис. 5. Залежність амплітуди (а) і активності (б) сигналів АЕ від навантаження по довжині зразка

Подібний тип акустограм був отриманий для всіх випробуваних зразків. Характерним і загальним в поведінці АЕ склопластикових зразків є те, що залежність амплітуди і активності сигналів АЕ від навантаження має завжди один і той же вид, представлений на рис. 6.

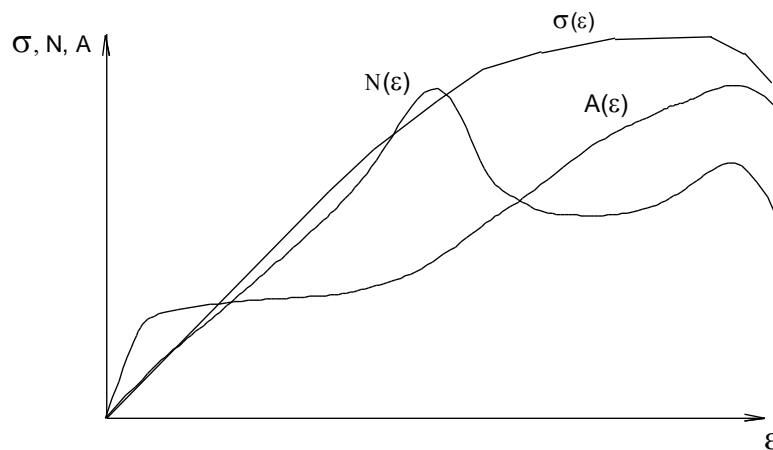


Рис. 6. Криві залежностей амплітуд (А) і активності (N) сигналів АЕ та напружень ( $\sigma$ ) від відносної деформації ( $\epsilon$ ) склопластикових зразків

Як видно із графіків (рис. 5, 6), сигнали АЕ випромінюються одразу ж після початку навантаження, при цьому рівень емісії невисокий – амплітуда сигналів знаходиться на рівні 1200–1800 мкВ (рис. 5, а), а інтенсивність дорівнює приблизно 10 імпульсів/с (рис. 5, б). Цікавим є той факт, що амплітудний рівень залишається постійним від початку навантаження і до досягнення матеріалом зразка деякого критичного навантаження  $P_{кр} = (0,7 \dots 0,8) P_{max}$ . При досягненні цього навантаження має місце різкий сплеск параметрів АЕ. Тут амплітуда сигналів приймає максимальні значення близько 6000 мкВ, активність підвищується до рівня 50–60 імпульсів/с (рис. 5).

Амплітудний розподіл сигналів АЕ на всій ділянці навантаження зразків має свої особливості. Встановлено, що при навантаженні склопластику, в основному проявляються два типи

сигналів АЕ: основний «фон» – низький рівень сигналів близько 1200 мкВ, який присутній від початку навантаження до самого руйнування, і сигнали, які проявляються як амплітудні сплески (понад 3000 мкВ), які з'являються по мірі збільшення навантаження і найбільш явно виявляють себе при перевищенні критичного навантаження  $P_{кр}$ .

Наявність двох різних проявів АЕ може бути пояснено природою їх походження. Структура склопластику являє собою систему волокно-матриця, де волокнами є скловолокно, а матрицею – епоксидна зв'язуюча. Низькорівневе випромінювання сигналів АЕ може бути пов'язано з плінністю і розтріскуванням матриці і руйнуванням границі розділу волокно-матриця [7, 8]. Активність цих сигналів безперервно зростає до рівня навантаження, відповідного  $P_{кр}$ ; даний момент визначається максимумом активності АЕ.

Збільшення навантаження і прогину призводить до того, що вичерпавши запас міцності матриці, руйнування залучає до себе скловолокна. Перші високо-амплітудні сплески свідчать про розрив найбільш слабких волокон, розташованих біля поверхні зразка, де діють максимальні нормальні напруження. Висока амплітуда сигналів АЕ, що виникає при розриві волокон, пояснюється кількістю пружної енергії, яка накопичується і вивільняється при їх розриві [9]. Зростаюча кількість сигналів АЕ відображає кількість зруйнованих волокон, що проявляється підвищенням активності високоамплітудних сигналів [10–13]. Пік

активності цих сигналів відповідає моменту руйнування матеріалу, тут крім розриву окремих волокон можливе включення ще одного виду руйнування – розтріскування матриці і розрив волокон, які об'єднуються в магістральну тріщину, що несе руйнування.

Для перевірки припущення про можливість неруйнівного діагностування міцності, використовуючи підхід, вироблений на сталевих зразках, для 15-ти випробуваних склопластикових зразків були визначені навантаження прогнозування  $P_{npz}$ , які відповідають моменту появи сигналів АЕ, амплітудою 3000 мкВ і активністю 25 імпл/с і обчислені коефіцієнти прогнозування граничного навантаження для кожного зразка:

$$K = P_{\max}/P_{npz}. \quad (3)$$

Виявилось, що коефіцієнти прогнозування для випробуваної партії зразків знаходяться в межах від 2,06 до 3. Як і в випадку із сталевими зразками, така розбіжність пов'язана із нестабільністю технології виробництва склопластику, тому, з огляду на відповідальність тестованих зразків, найбільш раціональним буде, якщо в якості коефіцієнта прогнозування граничного навантаження зразків прийняти мінімальне значення  $K_{\min} = 2$ , тоді можлива помилка піде в запас їх міцності.

Для організації неруйнівного контролю міцності деталей коефіцієнт прогнозування граничного навантаження використовувався для визначення безпечного рівня тестування за формулою:

$$P_{\text{тест}} = P_{\max}^{\text{дон}}/K_{\min}, \quad (4)$$

де  $P_{\max}^{\text{дон}}$  – допустиме значення максимального навантаження склопластикових зразків.

Тепер, навантажуючи зразок до  $P_{\text{тест}}$  і вимірюючи значення амплітуди і активності сигналів АЕ, можна сказати, що тестований зразок є міцним в разі коли амплітуда сигналів не перевищила 3000 мкВ і активність – 25 імпл/с, або в іншому випадку цей зразок визнається дефектним і відбраковується. Крім цього, при необхідності можна спрогнозувати максимальне навантаження зразка, визначивши його за формулою:

$$P_{\max}^{\text{npz}} = P_{npz}/K_{\min}. \quad (5)$$

### Висновки

Показано, що в ході стандартних лабораторних випробувань зразків матеріалів або натурних виробів на прості види навантаження – розтяг та згин, можна отримувати залежності між параметрами сигналів АЕ, напруженням в пружній стадії деформації і руйнівним напруженням і використовувати їх для неруйнівного діагностування міцності.

На підставі отриманих залежностей параметрів сигналів АЕ, напруженням в пружній стадії деформації і руйнівним напруженням розроблено: спосіб неруйнівного контролю, діагностування та прогнозування міцності на прикладі зразків сталі Ст3 при безпечному тестуванні статичним навантаженням, в якому при навантаженні до межі пропорційності у випадку перевищення параметрами АЕ контрольного рівня, зразок (деталь) визнається дефектним і його границя міцності визначається за допомогою коефіцієнта прогнозування, та лінійна локація джерел АЕ по максимуму загального рахунку сигналів АЕ дає лінійну координату місця майбутнього руйнування; методика неруйнівного діагностування і прогнозування міцності склопластикових заготовок при безпечному тестуванні статичним навантаженням на згин, параметрами, які оцінюють границю міцності заготовок є амплітуда і активність сигналів АЕ, при перевищенні параметрами сигналів АЕ контрольного рівня заготовка визнається дефектною і відбраковується, в іншому випадку – придатною до експлуатації.

### References

1. Roizman V.P. Software and hardware complex of acoustic emission / V.P. Roizman, I.I. Kovtun // Measurement and computation technique in technological processes. – Khmelnytsky : KhNU, 1997. – Vol. 1. – P. 25–29.
2. Silin R.I. Improving Reliability of Machine Units and Details by Acoustic Emission Diagnosing / R.I. Silin, V.P. Roizman, I.I. Kovtun // Proceedings of 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, Tianjin, China. – Tianji, 2004. – P. 2217–2221.
3. Kovtun I. Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Baurienė, K. Pilkauskas // Mechanika. – Kaunas : KTU, 2016. – Vol. 22. № 6 (2016). – P. 494–489.
4. Pisarenko G.S. Strength of materials / Pisarenko G.S., Kvitka O.L., Umanski E.S. – 2nd edition. – Kiev, 2004. – 655 p.
5. Kovtun I. Development of methods for acoustic emission non-destructive strength diagnostics of components and units / I.I. Kovtun, V.P. Roizman // Scientific collection of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Ser.: Military and technical sciences. – Khmelnytsky : NASBGSU, 2015. – Vol. 3 (65). – P. 311–327.
6. Lall P. Identification of failure modes in portable electronics subjected to mechanical-shock using supervised learning of damage progression / P. Lall, P. Gupta, and K. Goebel // Proc. IEEE 61st Electronic Components and Technology Conference (ECTC), USA. – 2011. – P. 1944–1957. – DOI: 10.1109/ECTC.2011.5898783.

7. Kahn S., Checkaneck R. Acoustic emission testing of multilayer ceramic capacitors. *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, 1983, 6.4: 517–526.
8. Viswanadham P., and Singh P., “Failure Modes and Mechanisms in Electronic Packages” in Chapman & Hall, MA, Ed. Boston : Springer, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6029-6>.
9. Royzman V. Ways to improve strength reliability of electronics elements and systems, in Proc. IEEE Conf. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (IEEE Cat. No.02EX542), Lviv-Slavsko, 2002, pp.187–190. DOI: 10.1109/TCSET.2002.1015917.
10. Kovtun I.I., Boiko J.M., Petrashchuk S.A. (2019), Reliability Improvement of Printed Circuit Boards by Designing Methods for Solder Joint Technical Diagnostics with Application of Acoustic Emission Method, *Visnyk NTUU KPI Seriiia - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, Vol. 79, pp. 60–70.
11. Shannon R., Zucaro G., Tallent J., Collins V., Carswell J. (2019), A system for detecting failed electronics using acoustics, *Instrumentation & Measurement Magazine IEEE*, Vol. 22, No. 4, pp. 32–37.
12. Kovtun I. Acoustic emission application for nondestructiv strength diagnostics of printed circuit boards / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk // *Herald of Khmelnytskyi National University*. – 2018. – Issue 1. – P. 12–17.
13. Kovtun I., Boiko J., Petrashchuk S. Assessing Enclosure Case Design on Excitation and Transmission of Vibration in Electronic Packages // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2019. – P. 265–270.

Рецензія/Peer review : 27.09.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ ПРИ ПОЗДОВЖНЬОМУ РІЗАННІ МАТЕРІАЛУ РИФЛЕНИМ НОЖЕМ З ОДНОСТОРОННЬОЮ ФОРМОЮ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Стаття присвячена математичному моделюванню втрат при поздовжньому різанні матеріалу рифленим ножом з односторонньою формою поперечного перерізу, а саме розробці методу визначення впливу величини зазору між твірними транспортуючих валиків і величини відстані від вертикальної вісі обертання транспортуючих валиків до кромки леза ножа на сумарну величину втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величину втрат на тертя матеріалу, шляхом використання рівнянь регресії. Машина для поздовжнього різання взуттєвих матеріалів застосовуються для вирівнювання та розділення взуттєвих матеріалів (шкіри, гуми, повсті) по товщині для отримання однакової товщини деталі по площині та/або різних по товщині деталей, придатних для застосування у взуттєвому виробництві. Технологічний процес поздовжнього різання взуттєвих матеріалів – це взаємодія механізму транспортуючих валиків та кромки леза ножа з деталлю в зоні деформації, який впливає на енергетичні витрати та якість обробки деталі та залежить від форми поперечного перерізу леза ножа (одно- та двостороння, криволінійна) і кромки леза (лінійна або рифлена (криволінійна) кромка заточки). Для визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого рифленого ножа з односторонньою формою поперечного перерізу, а також погонного зусилля різання (мікропористої гуми) був проведений двох факторний експеримент для моделі дослідження. Метою даного дослідження є верифікація аналітичної моделі використання рифленого ножа з односторонню формою поперечного перерізу (аналіз сили опору просування розділених частин матеріалу деталі в залежності від глибини рифлів та кутів їх заточування). Порівняння сумарних величин втрат при поздовжньому різанні матеріалу ножа з односторонньою заточкою та рифленого ножа з односторонньою формою поперечного перерізу, дозволяє говорити про доцільність використання рифленого ножа з односторонньою формою поперечного перерізу.

Ключові слова: погонне зусилля, сумарна величина втрат, втрати на тертя матеріалу, валики, леза ножа.

D.A. MAKATORA

Kyiv National University of Technologies and Design

## MATHEMATICAL MODELLING OF LOSSES AT SLITTING MATERIAL WITH A CORRUGATED KNIFE WITH ONE-SIDED CROSS SECTION

The article is devoted to mathematical modelling of losses at slitting material with a corrugated knife with one-sided cross section, namely to developing a method for determining the effect of the gap between the generators of transport rollers and the distance from the vertical axis of rotation and the amount of friction losses of the material, by using regression equations. Machines for slitting shoe materials are used for alignment and separation of shoe materials (leather, rubber, felt) in thickness to obtain the same thickness of the part in the plane and / or different thickness parts suitable for use in footwear production. The technological process of slitting shoe materials is the interaction of the mechanism of transporting rollers and the edge of the knife blade with the part in the deformation zone, which affects energy costs and quality of work piece and depends on the cross section of the knife blade (single and double, curved) and the knife edge (linear or corrugated (curved) edge of sharpening). To determine the total amount of losses at slitting material and the amount of friction losses on the face of a fixed corrugated knife with a one-sided cross section, as well as the line force (microporous rubber), a two-factor experiment has been performed for the study model. The purpose of this study is to verify the analytical model of the use of a corrugated knife with a one-sided cross section (analysis of the force of resistance to the movement of separated parts of the material depending on the depth of the grooves and sharpening angles). Comparison of the total values of losses at slitting material of a knife with one-sided sharpening and a corrugated knife with one-sided cross section, allows us to talk about the feasibility of using a corrugated knife with one-sided cross section.

Key words: line force, total amount of losses, friction losses of material, rollers, knife blades.

### Постановка проблеми

Машина для поздовжнього різання деталей низу взуття застосовуються для вирівнювання та розділення взуттєвих матеріалів (шкіри, гуми, повсті) по товщині для отримання однакової товщини деталі по площині та/або різних по товщині деталей, придатних для застосування у взуттєвому виробництві. Технологічний процес поздовжнього різання взуттєвих матеріалів – це взаємодія механізму транспортуючих валиків та леза ножа з деталлю в зоні деформації, яка представляє значний інтерес, який впливає на енергетичні витрати та якість обробки деталі та залежить від форми поперечного перерізу леза ножа (одно- та двостороння, криволінійна) і кромки леза (лінійна або рифлена (криволінійна) кромка заточки) [1–9].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [1] було проведено аналіз використання ножів, що мають різну форму поперечного перерізу, а саме одно- та двосторонню заточку, який довів, що використання ножа з односторонньою формою поперечного перерізу дозволяє знизити силу опору просуванню розділених деталей, в порівнянні з двостороннім. Авторами роботи [2] був проведений аналіз використання рифленого ножа з односторонню формою поперечного перерізу, результати дослідження дозволяють говорити про зменшення сили опору

просування розділених частин матеріалу деталі в залежності від глибини рифлів та кутів їх заточування. В роботах [3–9] було проаналізовано силу опору просуванню розділених деталей, а саме: при використанні леза ножа з дугоподібною [9], одно- [4, 7, 8] та двосторонню [3, 5, 6] формами поперечного перерізу, в роботах [3, 8, 9] для мікропористої гуми, роботах [4–5] відповідно для монолітної гуми та [6–7] повсті. Остається актуальне питання визначення погонного зусилля матеріалів (мікропористої гуми) та сили опору просуванню розділених деталей при використанні рифленого ножа з односторонньою формою поперечного перерізу.

**Метою дослідження** є верифікація математичної моделі авторів роботи [2], а саме визначення сили опору просування розділених деталей, та розробка ефективного методу визначення впливу величини зазору між твірними транспортуючих валиків і величини відстані від вертикальної вісі транспортуючих валиків до кромки леза рифленого ножа з односторонню формою поперечного перерізу.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Експериментальні дослідження як завершальна стадія проектування ріжучого інструменту в машинах для поздовжнього різання проводяться для визначення погонного зусилля різання матеріалів та порівняння витрат, що витрачається на процес поздовжнього різання при використанні ножів різної геометричної форми, а саме рифленого ножа з односторонньою формою поперечного перерізу.

Для визначення погонного зусилля різання був проведений двох факторний експеримент для моделі дослідження:

$$y = F(x_1, x_2),$$

де  $y$  – критерій оптимізації, що визначає  $q_p$ ;  $x_1$  і  $x_2$  – керовані параметри (фактори), що характеризують відповідно величину зазору між валиками  $h$  і величину відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа  $a$ .

При визначенні  $q_p$ , як зазначалося, необхідно провести двократну обробку деталі, при котрій в ході її розрізання визначається сумарна величина витрат на обробку  $P$ , а потім після розрізання матеріал складають разом і пропускають площиною з'єднання через ніж, та визначається величина витрат на тертя  $F$  [3–13]. Таким чином, лише різниця цих значень, віднесена до величини ширини деталі, дає справжню величину погонного зусилля різання мікропористої гуми [3–13]:

$$q_p = \frac{P - F}{B}. \quad (1)$$

Планування експерименту проводилося з використаних ротатбельного плану Бокса для двофакторного експерименту ( $k_{1,2} = 2$ ), який рекомендуються при  $k_{1,2} \leq 5$  [13].

Загальна кількість дослідів визначається за формулою [13]:

$$N_{1,2} = 2^2 + 2 \cdot 2 + 5 = 13.$$

Кодування, іменування значення факторів та інтервали їх варіювання наведені в табл. 1, значення яких визначалися за допомогою співвідношень:

$$x_1 = \frac{x_i - 4,35}{1}; \quad x_2 = \frac{x_j - 5}{0,5}. \quad (2)$$

Таблиця 1

**Таблиця рівнів та інтервалів варіювання діючих факторів, які підлягають дослідженню**

Фактор	Рівень варіювання					Інтервал варіювання фактора
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
$h$ – відстань між транспортуючими валиками, мм ( $x_1$ )	2,95	3,35	4,35	5,35	5,75	1
$a$ – відстань між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа, мм ( $x_2$ )	4,3	4,5	5	5,5	5,7	0,5

Проведемо обробку даних експерименту з визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу.

Матриця планування двофакторного експерименту представлена в табл. 2.

При визначенні числа вимірів для кожного досліді проводилося п'ять повторних вимірювань на нульовому рівні (досліди 9–13) і визначалося наближене значення середньоквадратичної похибки рівняння [13]:  $S_p = 1,118$ .

Розрахункове значення критерію Стюдента в цьому випадку:  $t_{расч}(P) = 4,0001$ .

**Матриця планування двофакторного експерименту визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу**

Номер досліджу	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
	$x_1$	$x_2$	$h$	$a$	$y_u$	$y_u$	$(y_u - \bar{y}_u)^2$
1	1	1	5,35	5,5	265	264,22	0,6047
2	-1	1	3,35	5,5	334	333,34	0,4378
3	1	-1	5,35	4,5	352	352,24	0,0559
4	-1	-1	3,35	4,5	390	390,35	0,1241
5	-1,414	0	2,95	5	372	370,95	1,1107
6	1,414	0	5,75	5	296	295,13	0,7515
7	0	-1,414	4,35	4,3	390	388,30	2,8745
8	0	1,414	4,35	5,7	286	285,77	0,0530
9	0	0	4,35	5	340	338,48	2,3068
10	0	0	4,35	5	338	338,48	0,2315
11	0	0	4,35	5	340	338,48	2,3068
12	0	0	4,35	5	338	338,48	0,2315
13	0	0	4,35	5	336	338,48	6,1562
						$\sum_1^{13} = 4377$	$\sum_1^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 15,4452$

Табличне значення критерію Стьюдента для  $\alpha_B = 0,95$  і  $n_1 = 5$  [13]. Тобто виконується умова:  $t_{расч}(P) \geq t_{табл}$ .

Отже, число вимірювань  $n_1 = 5$  для кожного досліджу є достатнім. Після проведення експерименту і розшифровки записів за допомогою тарувального графіка визначалося середнє значення п'яти повторних вимірювань критерію оптимізації по кожному досліджу і дані заносилися в робочу матрицю планування (табл. 2).

У цьому випадку необхідно знайти значення коефіцієнтів регресії рівняння [13]:

$$y_u = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \tag{3}$$

Для визначення цих коефіцієнтів використовувалися рівняння викладені в роботі [13]:

$$\alpha_1 = 0,2; \alpha_2 = 0,1; \alpha_3 = 0,125; \alpha_4 = 0,25; \alpha_5 = 0,125; \alpha_6 = 0,187; \alpha_7 = 0,1.$$

Звідси:  $b_0 = 338,48$ ;  $b_1 = -26,81$ ;  $b_2 = -36,26$ ;  $b_{12} = -7,75$ ;  $b_{11} = -2,72$ ;  $b_{22} = -0,72$ .

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 338,48 - 26,81x_1 - 36,26x_2 - 7,75x_1x_2 - 2,72x_1^2 - 0,72x_2^2 \tag{4}$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (4) перевіряється в такій послідовності.

Так як досліджу дублювалися тільки в нульовій точці, то дисперсія адекватності згідно рівнянню [13]:

$$S_{ад}^2 = \frac{17,24 - 11,2329}{3} = 2,0.$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку визначається за формулою [13]:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{11,2329}{4} = 2,81.$$

Знаючи число ступенів свободи для більшої ( $f_{ад} = 3$ ) і меншої ( $f_e = 4$ ) дисперсії [13], табличне значення критерію Фішера для 95 % довірчої ймовірності:  $F_{табл} = 6,59$ .

Розрахункове значення критерію Фішера згідно формули [13]:  $F_{расч}(P) = \frac{2,0}{2,81} = 0,71$ .

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (4) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю  $\alpha_B = 0,95$ , так як дотримується умова:  $F_{табл} \geq F_{расч}(P)$ .

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (4) перевіряється з урахуванням рівнянь роботи [13] для випадку, коли  $k_1 = 2$ . У цьому випадку:  $a_8 = 0,2$ ;  $a_9 = 0,125$ ;  $a_{10} = 0,1438$ ;  $a_{11} = 0,25$ . Отже:

$$S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 0,71 = 0,142 \text{ і } S_{\{b_0\}} = 0,38; \quad S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 0,71 = 0,089 \text{ і } S_{\{b_i\}} = 0,3;$$

$$S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 0,71 = 0,102 \text{ і } S_{\{b_{ii}\}} = 0,32; \quad S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 0,71 = 0,1775 \text{ і } S_{\{b_{ij}\}} = 0,42.$$

Звідси з співвідношень роботи [13]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,38 = \pm 0,76 ; \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,3 = \pm 0,6 ; \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,32 = \pm 0,64 ; \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,42 = \pm 0,84 .$$

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (4) і відповідних похибок в їх оцінці показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти, крім  $b_{22}$ , тоді отримаємо:

$$y_u = 338,48 - 26,81 x_1 - 36,26 x_2 - 7,75 x_1 x_2 - 2,72 x_1^2 \tag{5}$$

Рівняння (5) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат при виконанні поздовжнього різання матеріалу нерухомим ножом в залежності від відстані між транспортуючими валиками ( $x_1$ ), і відстані між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа ( $x_2$ ).

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величинах:

$$y_u = 338,48 - 26,81(h - 4,35) - 36,26\left(\frac{a-5}{0,5}\right) - 7,75(h - 4,35)\left(\frac{a-5}{0,5}\right) - 2,72(h - 4,35)^2 .$$

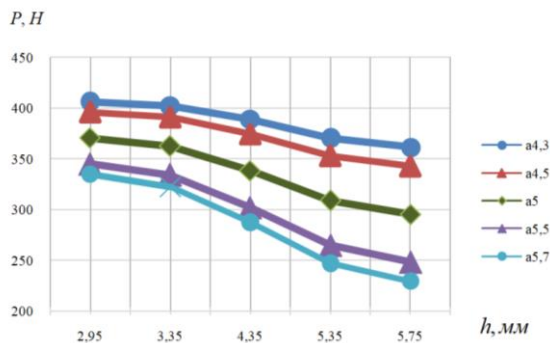


Рис. 1. Графік залежності сумарних витрат  $P$  при виконанні різання мікропористої гуми рифленим ножом з односторонньою формою поперечного перерізу, від величини відстані  $h$ , між транспортуючими валиками: при  $a = \text{const}$ , в діапазоні  $a_{\min} = 4,3 - a_{\max} = 5,7$

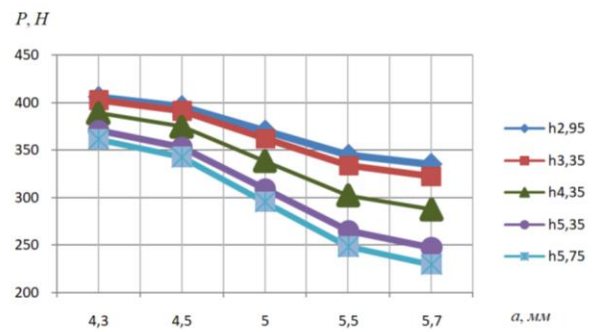


Рис. 2. Графік залежності сумарних витрат  $P$  при виконанні різання мікропористої гуми рифленим ножом з односторонньою формою поперечного перерізу, від величини відстані  $a$  від вертикальної вісі транспортуючих валиків до кромки леза ножа: при  $h = \text{const}$ , в діапазоні  $h_{\min} = 2,95 - h_{\max} = 5,75$

Таблиця 3

**Матриця планування двофакторного експерименту з визначення величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа**

Номер досліджу	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
	$x_1$	$x_2$	$H$	$a$	$y_u$	$y_u$	$(y_u - \bar{y}_u)^2$
1	1	1	5,35	5,5	212	210,58	2,0069
2	-1	1	3,35	5,5	244	243,26	0,5501
3	1	-1	5,35	4,5	246	246,38	0,1439
4	-1	-1	3,35	4,5	282	283,05	1,1116
5	-1,414	0	2,95	5	270	268,83	1,3580
6	1,414	0	5,75	5	220	219,80	0,0383
7	0	-1,414	4,35	4,3	276	274,04	3,8439
8	0	1,414	4,35	5,7	220	220,60	0,3551
9	0	0	4,35	5	244	244,86	0,7388
10	0	0	4,35	5	244	244,86	0,7388
11	0	0	4,35	5	246	244,86	1,3006
12	0	0	4,35	5	244	244,86	0,7388
13	0	0	4,35	5	246	244,86	1,3006
						$\sum_{1}^{13} = 3194$	$\sum_{1}^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 14,2255$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$y_u = 429,11 + 74,35h - 2,72h^2 - 5,1a - 15,5ah \tag{6}$$

Отриманий вираз (6) – експериментальна математична модель залежності величини сумарних втрат при виконанні поздовжнього різання від величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа.

При визначенні числа вимірів для кожного дослідження проводилося п'ять повторних вимірювань на нульовому рівні (досліди 9–13) і визначалося наближене значення середньоквадратичної похибки рівняння роботи [13]:  $S_p = 1,118$ . Розрахункове значення критерію Стюдента в цьому випадку:  $t_{расч}(P) = 4,0001$ .

Табличне значення критерію Стюдента для  $\alpha_B = 0,95$  і  $n_1 = 5$  [13]. Звідси виконується умова:  $t_{расч}(P) \geq t_{табл}$ .

Отже, число вимірювань  $n_1 = 5$  для кожного дослідження є достатнім. Після проведення експерименту і розшифровки записів за допомогою тарувального графіка визначали середнє значення п'яти повторних вимірювань критерію оптимізації по кожному дослідженню і дані заносилися в робочу матрицю планування (табл. 3). Отже, необхідно знайти значення коефіцієнтів регресії рівняння (3.32)–(3.35) і дані табл. 3.32 [14] для двофакторного експерименту:  $b_0 = 244,86$ ;  $b_1 = -17,34$ ;  $b_2 = -18,9$ ;  $b_{12} = 1$ ;  $b_{11} = -0,27$ ;  $b_{22} = 1,23$ .

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 244,86 - 17,34x_1 - 18,9x_2 + x_1x_2 - 0,27x_1^2 + 1,23x_2^2 \quad (7)$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (7) перевіряється у вище викладеній методиці.

Дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{14,2255 - 4,8177}{3} = 3,136.$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{4,8177}{4} = 1,204.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{расч}(F) = \frac{3,136}{1,204} = 2,6.$$

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (7) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю  $\alpha_B = 0,95$ , так як дотримується умова:  $F_{табл} \geq F_{расч}(P)$ .

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (7) перевіряли аналогічно, як у вище викладеній методиці. Отже:

$$S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 1,204 = 0,2408 \text{ і } S_{\{b_0\}} = 0,49; \quad S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 1,204 = 0,1505 \text{ і } S_{\{b_i\}} = 0,39;$$

$$S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 1,204 = 0,1731 \text{ і } S_{\{b_{ii}\}} = 0,42; \quad S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 1,204 = 0,3 \text{ і } S_{\{b_{ij}\}} = 0,55.$$

Звідси з співвідношень (4.26) – (4.29) [14]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,49 = \pm 0,98; \quad \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,39 = \pm 0,78; \quad \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,42 = \pm 0,84; \quad \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,55 = \pm 1,1.$$

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (7) і відповідних похибок в їх оцінці показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти, крім  $b_{11}$ , тоді отримуємо:

$$y_u = 244,86 - 17,34x_1 - 18,9x_2 + x_1x_2 + 1,23x_2^2 \quad (8)$$

Рівняння (8) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат при виконанні поздовжнього різання матеріалу нерухомим ножом в залежності від відстані між транспортуючими валиками ( $x_1$ ), і відстані між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа ( $x_2$ ).

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величин:

$$y_u = 244,86 - 17,34(h - 4,35) - 18,9\left(\frac{a-5}{0,5}\right) + (h - 4,35)\left(\frac{a-5}{0,5}\right) + 1,23\left(\frac{a-5}{0,5}\right)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$y_u = 652,79 - 27,34h - 86,5a + 2ah + 4a^2 \quad (9)$$

Отриманий вираз (9) – експериментальна математична модель залежності величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа при виконанні поздовжнього різання нерухомим ножом, від величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа.



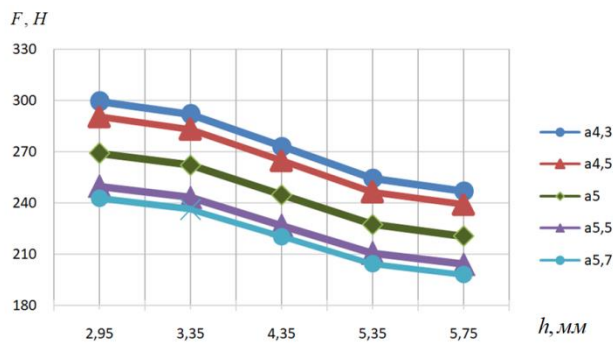


Рис. 3. Графік залежності сумарних витрат тертя  $F$  при виконанні різання мікропористої гуми нерухомим рифленим ножом з односторонньою формою поперечного перерізу, від величини відстані  $h$ , між транспортуючими валиками: при  $a = \text{const}$ , в діапазоні  $a_{\min} = 4,3 - a_{\max} = 5,7$

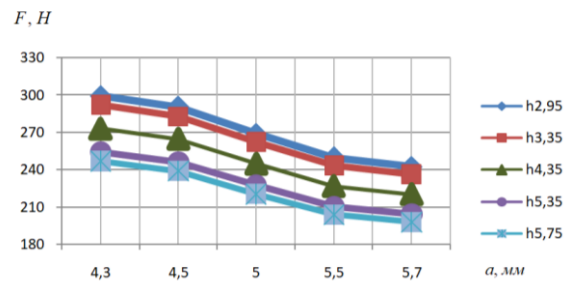


Рис. 4. Графік залежності сумарних витрат тертя  $F$  при виконанні різання монолітної гуми рифленим ножом з односторонньою формою поперечного перерізу, від величини відстані  $a$  від вертикальної осі транспортуючих валиків до кромки леза ножа: при  $h = \text{const}$ , в діапазоні  $h_{\min} = 2,95 - h_{\max} = 5,75$

### Висновки

Отримані експериментальні моделі, а саме визначення сумарної величини втрат (6) та величини втрат на тертя матеріалу (9) дозволяють визначати погонне зусилля різання мікропористої гуми (1). Підставляючи значення в рівняння (1), отримаємо середнє значення погонного зусилля монолітної гуми:

$$q_p = 2,64 \frac{\dot{I}}{\dot{i} \dot{i}}$$

Відхилення від отриманих раніше значень робіт [3, 8–10] відповідно складають від 3,1 до 6,8 %.

Порівнюючи сумарні величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу при використанні ножа з односторонньою формою поперечного перерізу (отриманні автором в роботі [1]) та при використанні рифленого ножа з односторонньою формою поперечного перерізу, отримуємо:

$$\Delta P = \frac{370,49 - 338,48}{370,49} \cdot 100\% = 8,64\%$$

Визначене відхилення свідчить, що виконані операції поздовжнього різання взуттєвих матеріалів доцільно використовувати лезо рифленого ножа з односторонньою формою поперечного перерізу, що дозволить знизити сумарні величини втрат, в порівнянні з одностороннім формою поперечного перерізу, що в свою чергу знизить енергетичні витрати на процес.

### Література

1. Макацьора Д.А. Аналіз раціонального положення ножа та форми його поперечного перерізу в машинах типу “ДН” / Д.А. Макацьора, В.І. Князев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2004. – № 1. – С. 159–163.
2. Макацьора Д.А. Аналіз впливу ножа з рифлями на силу просування матеріалу в процесі поздовжнього різання / Д.А. Макацьора, В.І. Князев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2004. – № 3. – С. 46–51.
3. Макацьора Д.А. Визначення погонного зусилля різання мікропористої гуми ножом з двосторонньою заточкою / Д.А. Макацьора // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 2 (65). – С. 92–97.
4. Макацьора Д.А. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножом з односторонньою заточкою / Д.А. Макацьора, І.В. Панасюк // Вісник ЧДТУ. – 2014. – № 1 (71). – С. 36–42.
5. Макацьора Д.А. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножом з двосторонньою заточкою / Д.А. Макацьора, І.В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 1 (209). – С. 31–35.
6. Макацьора Д.А. Визначення погонного зусилля різання повсті ножом з двосторонньою заточкою / Д.А. Макацьора, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 1 (75). – С. 41–48.
7. Макацьора Д.А. Експериментальне дослідження з визначення погонного зусилля різання повсті, ножом з односторонньою заточкою / Д.А. Макацьора // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 2 (76). – С. 113–123.
8. Макацьора Д.А. Визначення погонного зусилля різання мікропористої гуми ножом з односторонньою заточкою / Д.А. Макацьора, І.В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2 (211). – С. 19–25.

9. Макарьора Д.А. Експериментальне дослідження зусилля різання ножом з дугоподібною формою поперечного перерізу / Д.А. Макарьора // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 2 (283). – С. 229–234.
10. Черно-Иванов В.С. Разработка механизма продольного резания деталей низа обуви : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / В.С. Черно-Иванов. – К., 1998. – 165 с.
11. Черно-Иванов В.С. Розробка механізму повздовжнього різання деталей низу взуття : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / В.С. Черно-Иванов; ДАЛПУ. – К., 1998. – 18 с.
12. Патент № 70012 Україна, МПК В 23 В 1/00, G 01 L 3/00. Спосіб визначення потужності, що витрачається на повздовжнє різання матеріалу / Д. А. Макарьора, В. І. Князев ; заявник та патентовласник Київський державний університет технологій та дизайну. – № u20031212100 ; заявл. 23.12.2003 ; опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9.
13. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
14. ГОСТ 7338-90. Пластину резиновые и резинотканевые. Технические условия. Rubberand rubber-fabric sheets. Specifications. Дата введения в действие 01.07.1991. Код ОКС. 83.140.99. Статус: Действует. 18 с.

#### References

1. Makatora D.A. Analiz ratsionalnogo polozhennia nozha ta formy yoho poperechnoho pererizu v mashynakh typu "DN" / D.A. Makatora, V.I. Kniaziev // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnologii ta dyzainu. – 2004. – № 1. – S. 159–163.
2. Makatora D.A. Analiz vplyvu nozha z ryfliamy na sylu prosuvannia materialu v protsesi povzdovzhnogo rizannia / D.A. Makatora, V.I. Kniaziev // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnologii ta dyzainu. – 2004. – № 3. – S. 46–51.
3. Makatora D.A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia mikroporystoi humy nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu / D.A. Makatora // Visnyk ChDTU. – 2013. – № 2 (65). – S. 92–97.
4. Makatora D.A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia monolitnoi humy nozhem z odносторонноiu zatochkoiu / D.A. Makatora, I.V. Panasiuk // Visnyk ChDTU. – 2014. – № 1 (71). – S. 36–42.
5. Makatora D.A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia monolitnoi humy nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu / D.A. Makatora, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2014. – № 1 (209). – S. 31–35.
6. Makatora D.A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia povsti nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu / D.A. Makatora, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnologii ta dyzainu. – 2014. – № 1 (75). – S. 41–48.
7. Makatora D.A. Eksperymentalne doslidzhennia z vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia povsti, nozhem z odносторонноiu zatochkoiu / D.A. Makatora // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnologii ta dyzainu. – 2014. – № 2 (76). – S. 113–123.
8. Makatora D.A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia mikroporystoi humy nozhem z odносторонноiu zatochkoiu / D.A. Makatora, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2014. – № 2 (211). – S. 19–25.
9. Makatora D.A. Eksperymentalne doslidzhennia zusyillia rizannia nozhem z duhopodibnoiu formoiu poperechnoho pererizu / D.A. Makatora // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2020. – № 2 (283). – S. 229–234.
10. Chernov Ivanov V.S. Razrabotka mehanizma prodolnogo rezaniya detalej niza obuvi : dis. ... kand. tekh. nauk : 05.05.10 / V.S. Chernov-Ivanov. – K., 1998. – 165 s.
11. Chorno-Ivanov V.S. Rozrobka mehanizmu povzdovzhnogo rizannia detalei nyzu vzuttia : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.05.10 / V.S. Chorno-Ivanov; DALPU. – K., 1998. – 18 s.
12. Patent № 70012 Ukraina, MPK B 23 B 1/00, G 01 L 3/00. Sposib vyznachennia potuzhnosti, shcho vytrachaietsia na povzdovzhnie rizannia materialu / D. A. Makatora, V. I. Kniaziev ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy derzhavnyi universytet tekhnologii ta dyzainu. – № u20031212100 ; zaiavl. 23.12.2003 ; opubl. 15.09.2004, Biul. № 9.
13. Tihomirov V. B. Planirovanie i analiz eksperimenta / V. B. Tihomirov. – M. : Legkaya industriya, 1974. – 262 s.
14. GOST 7338-90. Plastini rezinove i rezinotkanevye. Tehnicheskie usloviya. Rubberand rubber-fabric sheets. Specifications. Data vvedeniya v dejstvie 01.07.1991. Kod OKS. 83.140.99. Status: Dejstvuet. 18 s.

Рецензія/Peer review : 17.10.2020 p.

Надрукована/Printed : 06.11.2020 p.

**В.П. РОЙЗМАН**, А.В. ГОРОШКО, С.А. ПЕТРАЩУК  
Хмельницький національний університет

## РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯННЯ ФРЕДГОЛЬМА ДЛЯ РУХУ НЕЗРІВНОВАЖЕНОГО РОТОРА З ДИСКРЕТНИМИ МАСАМИ

Основними методами балансування роторів є балансування за власними формами і балансування за статичними або динамічними коефіцієнтами впливу. У процесі зрівноваження гнучкого ротора за результатами вимірювань прогинів у різних перерізах ротора ідентифікують величину і місце розташування ексцентриситетів (дисбалансів) кожної з мас для подальшої установки компенсувальних вантажів, що їх зрівноважують. Для цього проведено аналіз розв'язків рівняння Фредгольма II роду, що описує рух незрівноваженого ротора. Проаналізовані рівняння, критичні частоти, прогини і форми коливань одно- і двомасового ротора без урахування гіроскопічних моментів. Обґрунтована можливість усунення дисбалансу, по кожній з форм згину ротора, виявляючи його в прогинах на відповідних критичних частотах обертання.

Ключові слова: гнучкий ротор, вібрації, рівняння Фредгольма, ексцентриситет, прогини, власні форми.

**V.P. ROYZMAN**, A.V. GOROSHKO, S.A. PETRASCHUK  
Khmelnytskyi National University

### SOLUTION OF THE FREDHOLM EQUATION FOR MOTION UNBALANCED LUMPED ROTOR

The main methods of balancing rotors are balancing according to their own forms and balancing according to static or dynamic coefficients of influence. In the process of balancing a flexible rotor, according to the results of measurements of deflections in various sections of the rotor, the magnitude and location of eccentricities (imbalances) of each of the masses are identified for further installation of compensating balancing weights. For this, the analysis of solutions of the Fredholm equation of the second kind, describing the motion of an unbalanced rotor, is carried out. The equations, critical frequencies, deflections and vibration modes of a single-mass and dual-mass rotor are analyzed without taking into account gyroscopic moments. The possibility of eliminating the imbalance for each of the rotor bending forms is substantiated by measuring it in deflections at the corresponding critical rotation frequencies.

Keywords: flexible rotor, vibrations, Fredholm equation, eccentricity, deflections, natural forms.

**Постановка проблеми.** Тенденція отримання більших потужностей в менших габаритах викликає появу у різних галузях техніки машин з гнучкими роторами і гнучкими опорами. Різноманітні дослідження свідчать, що більше 40 % аварій таких машин викликані підвищеними вібраціями їх деталей. Найчастіше джерелом підвищених вібрацій є незрівноваженість їх роторів, тобто стан, який характеризується таким розподілом мас, який під час обертання викликає пружний згин ротора і змінні навантаження на опори. Дисбаланс викликає значні вібрації і створює надмірні навантаження в області підшипників, що скорочує термін експлуатації машини. Поряд з конструкторськими методами боротьби з вібраціями ефективним методом є високоякісне балансування роторів з урахуванням їх деформацій. Практика показала, що зниження коливань роторів балансуванням з урахуванням їх деформованості за своїми результатами є рівнозначним конструкторським заходам.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Практика балансування доводить, що більшість роторів сучасних турбомашин і потужного електрообладнання балансують з урахуванням їх гнучкості під час експлуатації, оскільки для них не є ефективними методи балансування жорстких роторів у двох крайніх площинах корекції на низькооберткових балансувальних верстатах [1–3], і зниження динамічних прогинів і реакцій опор має відбуватись на всіх частотах обертання ротора. Основними методами балансування роторів є балансування за власними формами і балансування за статичними або динамічними коефіцієнтами впливу [4]. Гнучкі ротори балансують на робочих швидкостях не у двох, а у трьох і більше площинах корекції, прагнучи виявити, а потім компенсувати дисбаланси, які певним чином розподілені по довжині ротора. Для цього перш за все вимірюють деформації по всій довжині ротора або в деяких місцях, де можуть бути зосереджені найбільші дисбаланси [5–7]. Найчастіше в цих місцях вимірюють прогини ротора, за якими розраховують ексцентриситети і відповідні їм значення дисбалансів, а потім і зрівноважують вантажі.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** У процесі зрівноваження гнучкого ротора за результатами вимірювань прогинів у різних перерізах ротора ідентифікують величину і місце розташування ексцентриситетів (дисбалансів) кожної з мас для подальшої установки компенсувальних вантажів, що їх зрівноважують. Таку ідентифікацію можна здійснити, наприклад, розв'язавши рівняння Фредгольма II роду.

**Результати досліджень.** У роботі [8] для аналізу умов збалансованості гнучкого ротора розглядається рівняння Фредгольма відносно  $y(z)$  – прогину ротора у перерізі з координатою  $z$ :

$$y(z) = f(z) + \int_0^l m(s) \omega^2 \alpha(z, s) y(s) ds,$$

де  $f(z) = \int_0^l m(s) \cdot \omega^2 \cdot e(s) \cdot \alpha(z, s) ds$ , де  $e(s)$  – ексцентриситет ротора у перерізі з координатою  $S$ ,

$\alpha(z, s)$  – прогин у точці з координатою  $Z$  під впливом одиничної сили, прикладеної у точці  $S$ ,  
 $m(s)$  – погонна маса ротора у перетині з координатою  $S$ ,  $\omega$  – кутова частота обертання ротора,  
 $l$  – довжина ротора.

З теорії інтегральних рівнянь відомо, що розв’язок рівняння Фредгольма можна отримати трьома різними методами і у різних формах. Перший метод, який належить Фредгольму, подає  $y(z)$  у вигляді відношення двох степеневих рядів щодо  $\omega^2$ , кожен з яких має нескінченний радіус збіжності. Інтегральне рівняння розглядається як граничний випадок системи лінійних алгебраїчних рівнянь з  $n$  невідомими при  $n \rightarrow \infty$ . Таким чином рівняння Фредгольма II роду може бути з будь-якою наперед заданою точністю апроксимовано системою лінійних рівнянь, що означає можливість апроксимації ротора з будь-яким розподілом параметрів, ротором, що складається з невагомго вала, який несе  $n$  дисків з масами  $m_1, m_2, \dots, m_n$  та екваторіальними моментами інерції  $I_1, I_2, \dots, I_n$ :

$$\begin{cases} y_i = \sum_{k=1}^n m_k \alpha_{ik} \omega^2 (y_k + e_k) - \sum_{k=1}^n I_k \beta_{ik} \omega^2 (y'_k + \varepsilon_k), \\ y_i = \sum_{k=1}^n m_k \gamma_{ik} \omega^2 (y_k + e_k) - \sum_{k=1}^n I_k \delta_{ik} \omega^2 (y'_k + \varepsilon_k), \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\beta_{ik}$  – прогин під диском  $i$  від одиничного моменту, прикладеного у місці посадки диску  $k$ ,  $\gamma_{ik}$  – кут повороту перерізу у місці посадки диску  $i$  від одиничної сили, прикладеної у місці посадки диску  $k$ . Кожен з дисків в силу похибок виготовлення має радіальні ексцентриситети  $e_1, e_2, \dots, e_n$  і кутові, тобто відхилення осі диска від осі, що проходить через центри інерції  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ . При обертанні вал отримує прогини  $y_1, y_2, \dots, y_n$  і кути повороту  $y'_1, y'_2, \dots, y'_n$  (рис. 1). Обертання валу при прямій синхронній прецесії може бути представлено як коливання в двох взаємно перпендикулярних площинах.

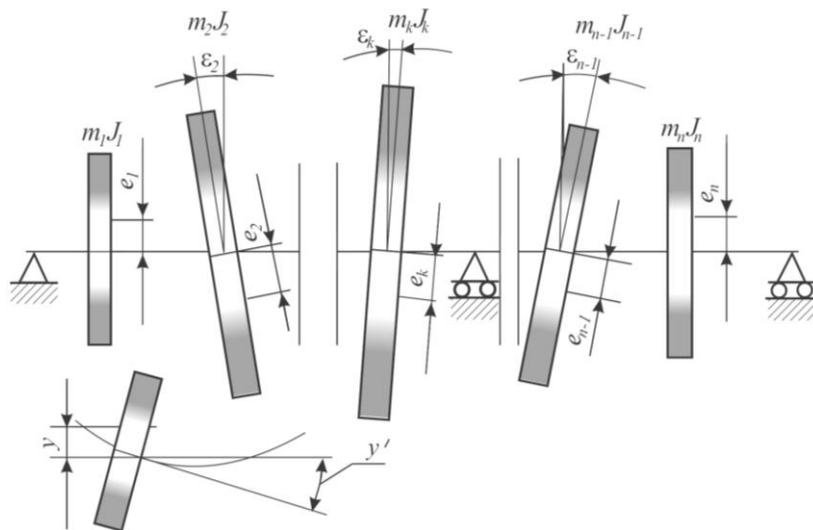


Рис. 1. Схема багатомасового ротора

Запис рівнянь (1) у розгорнутому вигляді і їх розв’язок щодо  $y, y'$  або  $e, \varepsilon$  при великій кількості членів стає громіздким, тому в даній роботі проведено їх аналіз на прикладі одно і двомасового ротора.

**Одномасовий ротор.** Позначивши коефіцієнт впливу вала в місці посадки диска через  $\alpha$ , запишемо вираз для прогину під диском:

$$y = m \cdot \omega^2 (y + e) \cdot \alpha,$$

де  $m$  – маса ротора;  $e$  – ексцентриситет;  $\omega$  – кутова швидкість обертання. Звідси,  $y = \frac{m e \omega^2 \alpha}{1 - m \omega^2 \alpha}$ .

Умова, при якому прогин дорівнює нулю, виконується якщо  $e = 0$ , при цьому знаменник виразу відмінний від нуля. Таким чином, для усунення прогину однодискового ротора необхідно, щоб ексцентриситет дорівнював нулю. Вираз для незрівноваженої сили диска має вигляд:

$$P = m e \omega^2 + m \omega^2 \frac{m e \omega^2 \alpha}{1 - m \omega^2 \alpha}. \quad (2)$$

З (2) видно, що відцентрова незрівноважена сила гнучкого ротора має дві складові. Перша з них, що містить  $\omega^2$ , є наслідком початкової незрівноваженості диска, а друга, пропорційна  $\omega^4$  – наслідком пружного прогину ротора. Ця обставина може бути використана для визначення можливих причин підвищених вібрацій машин. З рівняння (2) видно, що для усунення відцентрової незрівноваженої сили на однодисковому роторі його ексцентриситет також має дорівнювати нулю. Природно, що в цьому випадку і реакції опор дорівнюють нулю.

**Двомасовий ротор.** Нехай є невагомий вал, що несе на собі два тонких диска, з масами  $m_1$  і  $m_2$  з ексцентриситетами  $e_1$  і  $e_2$ , які для простоти лежать в одній площині, що містить вісь ротора. Розглянемо

коливання цього валу без урахування гіроскопічних моментів для будь-якого з варіантів розташування дисків, зображених на рис. 2, а–в.

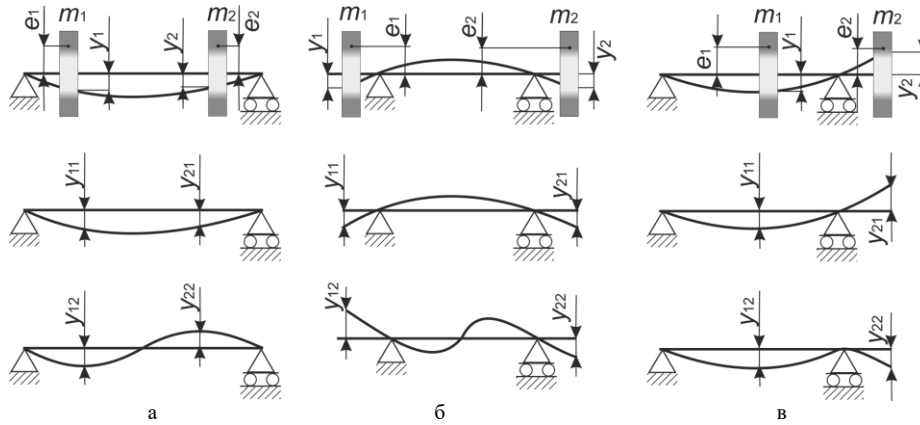


Рис. 2. Власні форми згину двомасових роторів

У випадку вільних коливань, тобто при  $e_1 = e_2 = 0$ :

$$\begin{cases} y_1(\alpha_{11}m_1\omega^2 - 1) + y_2\alpha_{12}m_2\omega^2 = 0 \\ y_1\alpha_{12}m_1\omega^2 + y_2(\alpha_{22}m_2\omega^2 - 1) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Нульовий розв'язок нас не цікавить, оскільки означає відсутність коливань, а ненульовий розв'язок можливий в тому випадку, коли:

$$\begin{vmatrix} m_1\alpha_{11}\omega^2 - 1 & m_2\alpha_{12}\omega^2 \\ m_1\alpha_{12}\omega^2 & m_2\alpha_{22}\omega^2 - 1 \end{vmatrix} = 0.$$

З цього рівняння знаходимо два значення частоти власних коливань системи або що те саме - критичних частот обертання даного валу. Щоб дізнатися форму згину на відповідних критичних частотах обертання, необхідно знайдені  $\omega_{кр}$  підставити в рівняння (3) і знайти відношення  $y_2 / y_1$ . Безпосередньо з рівнянь (3) знаходимо:

$$\rho_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} = -\frac{y_{11}m_1\omega_1^2 - 1}{y_{12}m_2\omega_1^2}, \quad \rho_{22} = \frac{y_{22}}{y_{12}} = -\frac{y_{11}m_1\omega_2^2 - 1}{y_{12}m_2\omega_2^2},$$

де  $y_{11}, y_{12}$  – прогини під диском 1 на критичних частотах 1 і 2;  $y_{21}, y_{22}$  – прогини під диском 2 на критичних частотах 1 і 2.

Як видно, характеристика власної форми згину ротора є відношення амплітуд коливань різних точок вала для даного значення власної частоти коливань, причому кожному значенню частоти відповідає своє значення відношення  $y_2 / y_1$ . Підкреслимо, що в аналітичний вираз повного прогину на будь-яких невласних частотах входять елементи кожної з власних форм згину. Так, наприклад, на рис. 2 показана форма згину вала на деякій кутовій швидкості  $\omega$  (крива 1). Вона складена з форми згину на перших критичних частотах –  $\omega_1$  (крива 2) і форми згину на других критичних частотах –  $\omega_2$  (крива 3).

За принципом Даламбера кожен власну форму можна розглядати як епюру переміщень від відповідного інерційного навантаження, перетворюючи завдання динаміки в задачу статyki.

Відповідно до початкових умов, які визначаються, наприклад, завданням початкових прогинів дисків  $y_1$  і  $y_2$  і, отже, незрівноважених сил  $m_1\omega^2 y_1$  і  $m_2\omega^2 y_2$  утворюються форми пружної лінії. Так, очевидно, якщо початкові умови такі, що  $y_1$  і  $y_2$  лежать в одній площині і по одну сторону від осі вала, то повні коливання будуть відбуватися тільки за симетричною формою (рис. 2, криві 2), а якщо  $y_1$  і  $y_2$  лежать в одній площині, але по різні боки від осі вала, то повні коливання будуть відбуватися за антисиметричною формою (рис. 2, криві 3).

Між координатами епюри переміщень двох різних головних форм існує важлива залежність, яка знадобиться в подальшому:  $m_1 y_{11} y_{12} + m_2 y_{21} y_{22} = 0$ . Цей вираз відображає властивість ортогональності двох різних власних форм згину. Фізично це означає, що можлива робота незрівноважених сил від прогинів, розподілених по одній зі своїх форм згину, на переміщеннях по іншій своїй формі згину дорівнює нулю.

За наявності ексцентриситетів на дисках прогини мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} y_1 &= \alpha_{11}m_1\omega^2(y_1 + e_1) + \alpha_{12}m_2\omega^2(y_2 + e_2), \\ y_2 &= \alpha_{21}m_1\omega^2(y_1 + e_1) + \alpha_{22}m_2\omega^2(y_2 + e_2). \end{aligned}$$

Звідки:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{1}{B} \begin{vmatrix} (e_1 m_1 \alpha_{11} \omega^2 + e_2 m_2 \alpha_{12} \omega^2) & -m_2 \alpha_{12} \omega^2 \\ (e_1 m_1 \alpha_{21} \omega^2 + e_2 m_2 \alpha_{22} \omega^2) & 1 - m_2 \alpha_{22} \omega^2 \end{vmatrix}, \\ y_2 &= \frac{1}{B} \begin{vmatrix} 1 - \alpha_{11} m_1 \omega^2 & (e_1 \alpha_{11} m_1 \omega^2 + e_2 m_2 \alpha_{12} \omega^2) \\ -m_1 \alpha_{21} \omega^2 & (e_1 \alpha_{21} m_1 \omega^2 + e_2 m_2 \alpha_{22} \omega^2) \end{vmatrix}, \\ B &= \begin{vmatrix} 1 - \alpha_{11} m_1 \omega^2 & -m_2 \alpha_{12} \omega^2 \\ -m_1 \alpha_{21} \omega^2 & 1 - m_2 \alpha_{22} \omega^2 \end{vmatrix} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Рівняння (4) встановлюють зв'язок між прогинами вала у дисків і їх ексцентриситетами на будь-яких частотах обертання ротора. З (4) видно, що прогини будуть відсутніми за відсутності ексцентриситетів, тобто на всіх частотах обертання, крім критичних, де вони не визначені, оскільки тоді і чисельник і знаменник виразів (4) дорівнює 0. Вирази для незрівноважених сил на дисках мають вигляд:

$$P_1 = m_1 \omega^2 (e_1 + y_1), \quad P_2 = m_2 \omega^2 (e_2 + y_2).$$

Підставляючи замість  $y_1$  і  $y_2$  їх вирази з рівнянь (4), отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} P_1 B &= m_1 e_1 \omega^2 \begin{vmatrix} 1 & -\alpha_{12} m_2 \omega^2 \\ 0 & 1 - \alpha_{22} m_2 \omega^2 \end{vmatrix} + m_1 e_2 \omega^2 \begin{vmatrix} m_2 \alpha_{12} \omega^2 & 0 \\ m_2 \alpha_{22} \omega^2 & 1 \end{vmatrix}, \\ P_2 B &= m_2 e_2 \omega^2 \begin{vmatrix} 1 - \omega^2 \alpha_{11} m_1 & 0 \\ -m_1 \alpha_{21} \omega^2 & 1 \end{vmatrix} + m_2 e_1 \omega^2 \begin{vmatrix} 1 & m_1 \alpha_{11} \omega^2 \\ 0 & m_1 \alpha_{21} \omega^2 \end{vmatrix}. \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

За яких умов незрівноважені сили на дисках будуть відсутніми? Вважаючи ліві частини рівнянь (5) рівними нулю (при цьому поки припускаємо, що  $B \neq 0$ , тобто частоти обертання відмінні від критичних) і скорочуючи перше рівняння (5) на  $m_1 \omega^2$ , а друге на  $m_2 \omega^2$ , маємо:

$$\left. \begin{aligned} e_1 (1 - \alpha_{22} m_2 \omega^2) + e_2 m_2 \alpha_{12} \omega^2 &= 0, \\ e_1 m_1 \alpha_{21} \omega^2 + e_2 (1 - \alpha_{11} m_1 \omega^2) &= 0. \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Цим рівнянням задовольняють нульові розв'язки, тобто незрівноважені сили будуть відсутніми на всіх частотах обертання, крім критичних, якщо ексцентриситети дорівнюють нулю. Рівняння (6) допускають існування ненульових розв'язків коли визначник, складений з коефіцієнтів при  $e_1$  і  $e_2$ , дорівнює 0, тобто

$$\begin{vmatrix} 1 - \alpha_{22} m_2 \omega^2 & m_2 \alpha_{12} \omega^2 \\ m_1 \alpha_{21} \omega^2 & 1 - \alpha_{11} m_1 \omega^2 \end{vmatrix} = 0.$$

Цей визначник відрізняється від визначника «В» лише тим, що у нього замінилися місцями основні члени по одній діагоналі, а по інший – замість знака «-» стоїть знак «+». Це визначник системи, союзної з системою (5). Після його розкриття можна переконатися, що за значенням він точно дорівнює визначнику «В», який в свою чергу, будучи рівним нулю, визначає наявність критичного режиму, оскільки є частотним рівнянням для визначення критичних кутових швидкостей системи.

Таким чином, задаючи питання, чи можуть на некритичних частотах обертання ( $B \neq 0$ ) бути відсутніми незрівноважені сили при наявності ексцентриситетів у дисків (ненульові розв'язки рівняння Фредгольма), ми отримаємо відповідь: таких частот обертання, крім критичних, не існує. Сили, ексцентриситети і прогини відносяться лише до критичних частот обертання і у рівняннях (5) мова йде про сили, здатні викликати згин лише за власною формою.

Співвідношення між ексцентриситетами знаходить з рівняння (6):

$$\frac{e_1}{e_2} = - \frac{m_2 \alpha_{12} \omega_{кр}^2}{1 - m_2 \alpha_{22} \omega_{кр}^2} = \frac{1 - m_1 \alpha_{11} \omega_{кр}^2}{m_1 \alpha_{21} \omega_{кр}^2},$$

де  $\omega_{кр}$  – критична кутова швидкість. Порівнюючи цей вираз з виразом для  $\rho$  бачимо, що вони однакові і дорівнюють характеристиці власної форми згину, тобто все, що говорилося про властивості амплітуд власних форм згину, справедливо і для ексцентриситетів власних форм, тобто таких ексцентриситетів, які розподілені подібно до відповідних власних форм згину ротора:

$$\rho_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} = \frac{e_{21}}{e_{11}}, \quad \rho_{22} = \frac{y_{22}}{y_{12}} = \frac{e_{22}}{e_{12}}, \quad (7)$$

де  $e_{11}, e_{21}$  – відповідно ексцентриситети першого і другого дисків, задані за першою власною формою згину ротора;  $e_{12}, e_{22}$  – відповідно ексцентриситети першого і другого дисків, задані за другою власною формою згину ротора.

Задавши початкові ексцентриситети відповідно до рівняння (7) але за другою власною формою згину ротора, ми тим самим задаємо антисиметричну форму згину і практично не отримуємо першу власну форму згину, що відповідає першій критичній кутовій швидкості. І, навпаки, для відсутності незрівноважених сил, що викликають згин вала за другою власною формою (на другій критичній кутовій швидкості), необхідно задавати дисбаланси зі співвідношення  $\rho_{21} = e_{21} / e_{11}$ , тобто за симетричною формою згину. Іншими словами, залишкові дисбаланси після зрівноваження повинні бути ортогональними до власної форми згину, яку усувають, тобто:  $m_1 e_{12} y_{11} + m_2 e_{22} y_{21} = 0$ .

**Висновки.** Проведений аналіз показав, що умовами збалансованості гнучкого ротора є:

- у разі, якщо усі  $e$  і  $\epsilon$  дорівнюють нулю, на роторі відсутні всі незрівноважені сили і моменти;
- за наявності на роторі залишкових  $e$  і  $\epsilon$  для усунення прогину по одній з власних своїх форм згину необхідно виконати умову ортогональності залишкових  $e$  і  $\epsilon$  до власної форми, що усувається.

Для практики зрівноваження це означає, що оскільки добитися ідеальної збалансованості ротора ( $e_1 = e_2 = 0$ ) неможливо, то величину і кут залишкових дисбалансів слід залишати такими, щоб вони утворювали ту власну форму згину ротора, яка не потрапляє в діапазон експлуатаційних частот обертання машини. Наприклад, якщо у дводискового ротора перша критична частота лежить в діапазоні експлуатаційних частот обертання, а друга – далеко за ними, то слід розраховувати залишкові дисбаланси так, щоб вони створювали другу власну форму згину. У цьому випадку вібрації на першій критичній кутовій швидкості є безпечними через відсутність незрівноважених сил, здатних порушити першу форму згину, а наявні незрівноважені сили, що згинають вал за власною другою формою, не є небезпечними, оскільки є ортогональними до згину вала за першою формою. Більше того, як показала практика, в цьому випадку ротор поводить себе навіть стабільніше і в околі першої критичної кутової швидкості.

### Література

1. Куменко А. Балансировка гибких роторов и валопроводов на основе систем КОМПАКС® с применением датчиков вала / А. Куменко // Деловой журнал Neftegaz. RU. – 2015. – № 3. – С. 58–61
2. Сидоров И.Н. Итерационный алгоритм идентификации коэффициентов жесткости и демпфирования опор разгоннобалансировочного стенда при балансировке гибких роторов / И.Н. Сидоров, В.В. Туктарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 329–332.
3. Dimarogonas A. D., Paipetis S. A., Chondros T. G. Analytical methods in rotor dynamics. Berlin–Heidelberg–New York–Springer Verlag, 2013, Darlow M. S. Balancing of high-speed machinery. Springer Science & Business Media. 2012.
4. Галяка В.Г. Особенности практической балансировки роторов турбокомпрессорных агрегатов, основанные на экспериментальном уточнении их динамических моделей / В. Г. Галяка, В.И. Симоновский // Проблемы машиностроения 10. – 2007. – 1. – С. 75–79.
5. M. E. Levit et al. Manual balancing. Moscow: Mashinostroenie, 1992. 464 p.
6. Darlow M. S. 2012. Balancing of high-speed machinery, Springer Science & Business Media.
7. Zhou S., Shi J. 2001. Active balancing and vibration control of rotating machinery: a survey. Shock and Vibration Digest, T. 33, № 5. P. 361–371.
8. Ройзман В.П. Идентификация и балансировка гибких роторных систем : монография / В.П. Ройзман. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – 186 с.

### References

1. Kumenko A. Balansirovka gibkih rotorov i valoprovodov na osnove sistem KOMPAKS® s primeneniem datchikov vala / A. Kumenko // Delovoy zhurnal Neftegaz. RU. – 2015. – № 3. – S. 58–61
2. Sidorov I.N. Iteratsionnyj algoritm identifikatsii koeffitsientov zhestkosti i dempfirovaniya opor razgonnobalansirovochnogo stenda pri balansirovke gibkih rotorov / I.N. Sidorov, V.V. Tuktarova // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhya. – 2014. – № 6. – S. 329–332.
3. Dimarogonas A. D., Paipetis S. A., Chondros T. G. Analytical methods in rotor dynamics. Berlin–Heidelberg–New York–Springer Verlag, 2013, Darlow M. S. Balancing of high-speed machinery. Springer Science & Business Media. 2012.
4. Galyaka V.G. Osobennosti prakticheskoy balansirovki rotorov turbokompressornyh agregatov, osnovannye na eksperimentalnom utochnenii ih dinamicheskikh modelej / V. G. Galyaka, V.I. Simonovskij // Problemy mashinostroeniya 10. – 2007. – 1. – S. 75–79.
5. M. E. Levit et al. Manual balancing. Moscow: Mashinostroenie, 1992. 464 p.
6. Darlow M. S. 2012. Balancing of high-speed machinery, Springer Science & Business Media.
7. Zhou S., Shi J. 2001. Active balancing and vibration control of rotating machinery: a survey. Shock and Vibration Digest, T. 33, № 5. R. 361–371.
8. Rojzman V.P. Identifikatsiya i balansirovka gibkih rotornyh sistem : monografiya / V.P. Rojzman. – Hmel'nickij : HNU, 2017. – 186 s.

Рецензія/Peer review : 16.10.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.

Н.О. КОСТЮК, А.І. ГОРДЕЄВ, В.П. НЕЗДОРОВІН  
Хмельницький національний університет

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ І ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ЕТАПИ ЇЇ ПРОЕКТУВАННЯ

*Запропоновано конструкцію вібраційної машини поршневого типу, яка застосовує низькочастотні вібрації, для формування кавітаційних полів у рідинних субстанціях, що обробляються з метою зміни їх властивостей та знезаражування. В машині використовуються активатор поршневого типу з ексцентриковим приводом. Проведено експериментальні дослідження зміни показників водопровідної води, обробленою кавітацією у вібраційній машині поршневого типу. У результаті проведених досліджень зі знезаражування річкової води встановлено, що після оброблення кавітацією річкової води деякі види колоній бактерій знищуються, а кількість деяких колоній бактерій зменшується у десятки разів, що підтверджує працездатність її для попереднього безреагентного знезаражування. Запропоновані підходи, по проектуванню вібраційної машини поршневого типу, дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин, призначених для впливу на властивості води та її знезаражування.*

*Ключові слова: знезаражування, властивості води, вібраційні машини, кавітація.*

N.O. KOSTIUK, A.I. HORDEEV, V.P. NEZDOROVIN  
Khmelnitskyi National University

## EXPERIMENTAL RESEARCHES OF EFFICIENCY OF THE VIBRATING MACHINE FOR DISINFECTION AND CHANGE OF WATER PROPERTIES AND STAGES OF ITS DESIGN

*The design of a piston-type vibrating machine that uses low-frequency vibrations for the formation of cavitation fields in liquid substances that are processed in order to change their properties and disinfect is proposed. The car uses a piston-type activator with an eccentric drive. The use of such a drive makes it possible to exert a rigid controlled influence on the process of cavitation cavities with the formation of cavitation bubbles by selecting the design parameters of the machine and modes of operation of its drive. Experimental studies of changes in tap water treated by cavitation in a piston-type vibrating machine. Using the original method, the change in the energy state of tap water before and after cavitation was determined. As a result of research on river water disinfection, it was found that after cavitation treatment of river water, some types of bacterial colonies are destroyed, and the number of some bacterial colonies is reduced tenfold, which confirms its efficiency for previous reagent-free disinfection. An example of determining the diameter of the shaft neck under the eccentric and the design parameters of the eccentric with the subsequent selection of the characteristics of the bearing. In order to prevent jamming and rapid wear of the slider-sleeve assembly, the dependences for determining the sleeve length depending on the design choice of the slider diameter are given and the conditions for checking the jamming of the slider-sleeve assembly are determined. Structural diagrams and dependences for determining the calculated parameters of the displacing force and the angle of its action relative to the axis of the slider are given. The proposed approaches to the design of a piston-type vibrating machine allowed to create a generalized methodology for calculating the rational design and technological parameters of vibrating machines designed to influence the properties of water and its disinfection.*

*Key words: disinfection, water properties, vibrating machines, cavitation.*

### Вступ

Використання вібраційних коливань у технологіях з використанням рідинного середовища обумовлюється потребами підвищення інтенсивності процесів, поліпшення їх якісних показників, а в деяких випадках і просто можливості їх реалізації. Унікальні властивості вібраційного поля дозволяють успішно здійснювати не лише оздоблювально-зачисні операції та зміцнювальні технології, але і такі операції, як сепарація, перемішування, вібраційного транспортування у важких експлуатаційних умовах, гомогенізація, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь тощо. Усе це обумовлює широке і ефективне застосування вібраційних технологічних машин в багатьох галузях промислового виробництва.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як показали дослідження [1, 2] динамічних явищ у багатофазових рідинних середовищах, підданих керованим вібраційним впливам багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробленні та реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме зміну властивостей та знезаражування водних потоків.

Одним із явищ, що впливає на дисперсність та хімічний склад рідини, є кавітація. Кавітація – явище розриву рідини під дією розтягуючих напруг, які виникають при появі розрідження в краплині рідини. При розриві краплини рідини утворюються порожнини – кавітаційні бульбашки, заповнені газом чи паром. Отже, розрив рідини обумовлений зміною характеристик швидкостей і тисків. Кавітаційні бульбашки утворюються в тих місцях, де тиск у рідині стає нижчим деякої критичної величини. Якщо тиск знижується внаслідок зростання локальних швидкостей потоку краплинної рідини, то кавітацію називають гідродинамічною, якщо ж зниження тиску викликане проходженням акустичних хвиль, то кавітацію називають акустичною.

Критичне значення тиску, при якому відбувається розрив рідини, залежить від багатьох чинників: від чистоти рідини, вмісту у ній повітря, стану поверхні, на якій виникає кавітація. Кавітація може виникати



в потоці рідини, що має змінний тиск, а також поблизу і на поверхні тіл різної форми у місцях найбільшого розрідження. Змінне поле тиску створюється різним чином: у результаті зміни швидкості потоку (руху тіла), впливу форми тіла, в наслідок коливального впливу на рідину (ультразвук або вібрації).

Природою кавітації та різними ефектами, що впливають на зношування металів, займались багато дослідників [3, 4]. Проте їх дослідження, в основному, були направлені на пояснення кавітаційного та кавітаційно-ерозійного зношування поверхні металів, а зміни складу середовища, у якому виникала кавітація, були поза увагою досліджень. Якщо на робоче середовище протягом значного періоду часу впливає кавітація, то які фактори впливають на знезаражування і як змінюється властивості робочого середовища?

У зв'язку з виключною складністю процесу кавітації і зв'язаного із ним кавітаційного руйнування поверхонь виробів про можливий механізм процесу дослідники висловлюють різні припущення та існує тенденція пояснювання кавітаційного руйнування дією якогось одного фактора. Усі ці гіпотези можна розділити на окремі групи, які базуються на теорії гідромеханічної дії, електрохімічної теорії кавітаційної ерозії, теорії миттєвих хімічних реакцій та на термодинамічній теорії кавітаційної ерозії. Аналіз робіт із кавітаційного руйнування показує, що більшість авторів як робочу гіпотезу приймають гідродинамічну теорію, розроблену Релеєм, і вважають, що цим визначальним фактором є механічна дія, спричинена руйнуванням бульбашки на поверхні виробу. Проте важлива роль відводиться також і корозійному фактору [5], який у ряді випадків кавітаційного руйнування може бути основним [6].

За останній період з'явився новий напрямок створення вібраційного обладнання для оброблення води кавітаційним процесом, який забезпечує надання воді нових властивостей та її знезаражування. У національному університеті «Львівська політехніка» створені вібраційні електромагнітні кавітатори резонансної дії, робота яких ґрунтується на застосуванні низькочастотних вібрацій для формування кавітаційних полів у значних об'ємах оброблюваних рідинних субстанцій [7, 8]. Однак їм притаманні деякі недоліки – незначний час перебування рідини у стані виникнення кавітаційної зони. Поряд із цим у Хмельницькому національному університеті створено ряд вібраційних машин для кавітаційного оброблення води з метою знезаражування та зміни її властивостей [9], які побудовані на основі використання ексцентрикового віброприводу і забезпечують дискретну обробку рідини багаторазовим впливом кавітаційного процесу.

#### Актуальність дослідження

Дослідження, що спрямовані на пошуки новітніх конструктивних рішень машин із досконалою динамікою роботи за умови їх придатності для промислового застосування, залишаються, як вагомим науково-технічним завданням, так і суспільною проблемою. Тому дослідження працездатності вібраційних машин для знезаражування та зміни властивостей води, розвиток наукових основ методики проектування та розроблення на основі цього нових конструкцій вібраційних машин і зумовлюють актуальність порушеної проблеми.

#### Виклад основного матеріалу

Запропоновано конструкцію вібраційної машини для утворення пульсуючих струменів рідини [10], в якій використовується зворотно-поступальний рух рідини через отвір у поршні із гострими крайками на вході. При цьому на виході з отвору отримують пульсуючий струмінь рідини, а при певних режимах роботи вібраційного приводу утворюється струмінь із включеннями газових пухирців, що виділяються з рідини внаслідок кавітаційних явищ. На стадії прямої дії акустичних коливань на хід процесу знезаражування можуть впливати тільки хімічно активні гази, тобто,  $O_2$  і  $H_2$ . У кінцевому результаті вплив кавітації на водні розчини зводиться до єдиного процесу – розщеплення молекул води в кавітаційних пухирцях. Незалежно від природи, розчинених у воді речовин, акустичні коливання впливають лише на воду, що призводить до зміни її фізико-хімічних властивостей – збільшення рН, електропровідності, числа вільних іонів і активних радикалів, а також структуризації та активації молекул. Окрім того різко збільшується швидкість реакції збуджених коливаннями молекул води з радикалами водню із виділенням складових  $OH$  та  $H_2$ . Ці процеси насичують рідину радикалами  $OH$ ,  $O^-$ ,  $O^+$  та активними газами  $O_2$ ,  $H_2$ . З іншого боку, зростають електричні нестационарні сили взаємодії між сусідніми диполями, які посилюють їх коливання як цілісного об'єкту і збільшують вірогідність руйнування рідкокристалічної структури рідини. Для підвищення ефективності процесу необхідно збільшити однократність вказаних впливів, що обумовлює високий ступінь зворотності реструктуризації та призводить до часткового повернення води до стану попередньої рідкокристалічної структури.

Знезаражуюча дія кавітації заснована на ефектах, які виникають у турбулентних потоках рідини. Так при гідродинамічних коливаннях рідини виникають і зникають кавітаційні бульбашки під дією знакозмінного тиску. При цьому стимулюються фазові переходи, підвищуються локальні температура і тиск. Окрім того, у моменти утворення і зникнення кавітаційних пухирців у газонаповненій порожнині створюються умови для появи електричних зарядів, електричних і магнітних полів. У такий спосіб рідина, оброблювана кавітацією, піддається термобаричній і електромагнітній дії. Особливістю кавітаційного методу оброблення води полягає в тому, що високий ступінь знезаражування води від яєць і личинок паразитів досягається за рахунок їх механічного руйнування ударними хвилями. Для руйнування бактерій і вірусів термобаричний вплив підсилюється локальною електромагнітною дією, коли наведені електричні потенціали пробивають їх мембрани і оболонки.

Механічні та фізичні способи очищення води є перспективними. На даний час розроблено ряд нових вібраційних машин та обладнання, у яких вода піддається багаторазовому зворотно-поступальному проходженню (циклічній гідрокавітації) через кавітаційний пристрій. Типовим представником цієї групи є

конструкція вібраційної машини поршневого типу з ексцентриковим приводом. Застосування такого приводу дає можливість здійснювати жорсткий керований вплив на процес виникнення кавітаційних порожнин з утворенням кавітаційних бульбашок шляхом підбору конструктивних параметрів машини та режимів роботи її приводу [10].

Результати дослідження зміни показників водопровідної води, обробленою кавітацією у вібраційній машині поршневого типу (частота коливань 16 Гц, амплітуда коливань 2 мм) показані на рис. 1. Встановлено, що після оброблення за період 10 хв, збільшується концентрації вільних іонів водню у воді та з часом відстою води цей показник збільшується до 8,4 рН. Це призводить до зменшення її кислотності. Зменшується показник окислювально-відновлювального потенціалу ОРР, що говорить про насичення киснем рідинного середовища. Показник TDS (рівня загальної мінералізації) після оброблення за період 10 хвилин, збільшується, що говорить про утворення нових сполук (окиснення Ca та Mg), які з часом випадають в осад та спостерігається зменшення показника 420 до 330 одиниць, що говорить про поліпшення властивостей води.

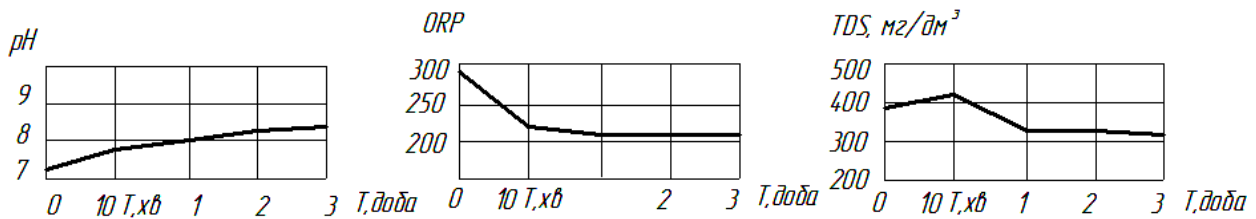


Рис. 1. Зміна показників водопровідної води, обробленої кавітацією за часом:  
 рН – показник жорсткості води (концентрації вільних іонів водню у воді);  
 ОРР – показник окислювально-відновлювального потенціалу;  
 TDS – показник рівня загальної мінералізації (солемісту)

За допомогою методики [11] визначено енергетичний стан води до впливу кавітації та після неї (10 хв). Краплі наносились на скло та висушувались при кімнатній температурі. Потім за допомогою мікроскопу МБС-10 проводилось фотографування їх характерних ділянок. На рис. 2 показано фотографії кристалічного осаду краплі водопровідної води, необробленої кавітацією. Форма кристалів осаду, особливо у крайовій зоні, говорить про певну упорядковану кластерну структуру води, яка при утворенні кристалів мала значний коефіцієнт поверхневого натягу.

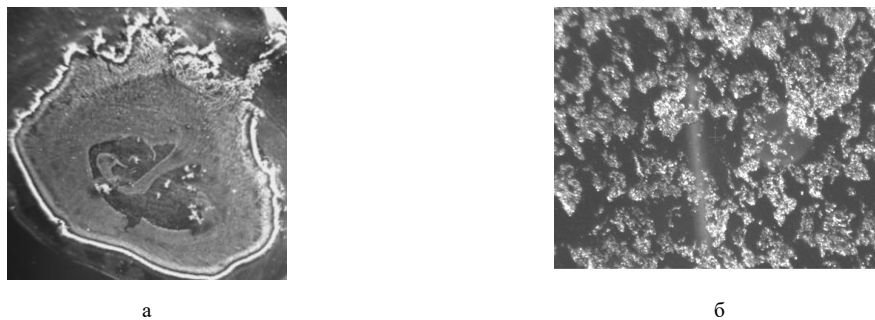


Рис. 2. Фотографія кристалів осаду краплі водопровідної води, необробленої:  
 а – усієї краплі, б – характерної ділянки із збільшенням у 20 разів

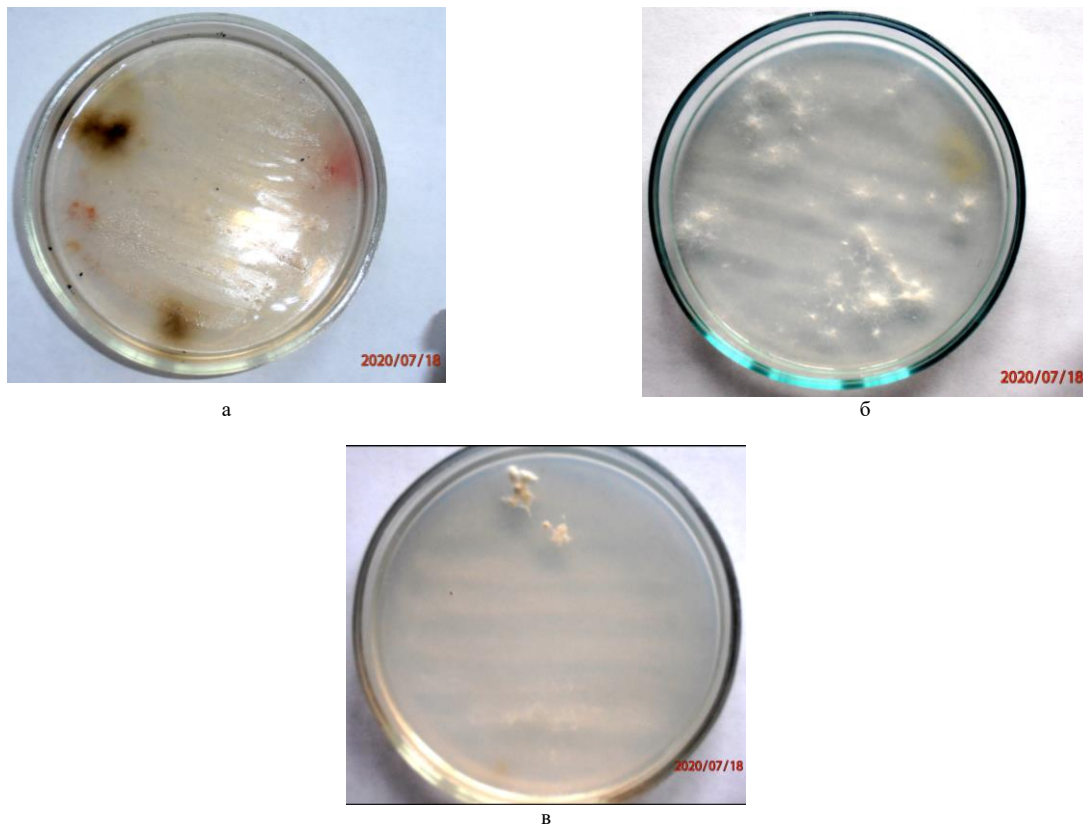
На рис. 3 показано фотографії структурної будови кристалів на різних ділянках осаду краплі водопровідної води, обробленою протягом 10 хв кавітацією. Спостерігається рівномірний розподіл та зрівноважена форма кристалів осаду. Це пояснюється зниженням коефіцієнту поверхневого натягу, розривом водневих зв'язків, структуризацією води. Отримані данні дають можливість стверджувати, що після оброблення води кавітацією проходить зміна властивостей води, поліпшення її придатності до споживання.



Рис. 3. Фотографія структурної будови кристалів на різних ділянках осаду краплі водопровідної води, обробленою кавітацією 10 хв: а – збільшення (1 см = 40 мкм); б – збільшення (1 см = 15 мкм)

Для визначення працездатності вібраційної машини по знезаражуванню води проведені дослідження впливу часу гідродинамічної кавітаційної обробки річкової води на зміну її бактеріального складу.

Обробка води кавітацією у вібраційній машині проводилась протягом 10; 20 хв та згідно з ГОСТ 18963–73 (Методы санитарно-бактериологического анализа) були проведено нанесення води на споживче середовище. Сутність методу полягає у визначенні загального вмісту мезофільних, мезотрофних аеробів і факультативних анаеробів, здатних зростати на споживчому агарі при температурі  $(37 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$  протягом  $(24 \pm 2)$  год, утворюючи колонії. Після завершення росту колоній, через 24 год, було проведено фотографування контрольного зразка та оброблених гідрокавітацією за певний час (рис. 4).



**Рис. 4. Фотографії зразків після росту колоній:**  
 а – зразок з нанесеною річковою водою не обробленою кавітацією;  
 б – зразок з нанесеною річковою водою обробленою кавітацією 10 хв;  
 в – зразок з нанесеною річковою водою обробленою кавітацією 20 хв

У результаті проведених досліджень встановлено, що після оброблення кавітацією річкової води деякі види колоній бактерій знищуються (рис. 4, б) (виглядають червоним та коричневим кольором на рис. 4, а), а кількість деяких колоній бактерій зменшується у десятки разів після оброблення 20 хвилин кавітацією (група колоній світлого кольору, рис. 4, в).

Підсумовуючи сказане, можна стверджувати, що застосування вібраційної машини поршневого типу з ексцентриковим приводом призводить до зміни певних властивостей води та підтверджує працездатність її для попереднього безреагентного знезараження водного середовища. При проектуванні вібраційних машин з ексцентриковим приводом необхідно проводити конструктивні розрахунки окремих вузлів та дотримуватись певних взаємозв'язків параметрів конструкції робочого органу та режимів роботи вібраційного приводу машини. Ексцентриковий привод найбільш раціонально використовувати в низькочастотних вібраційних машинах, а також в установках із фіксованою амплітудою коливань. Цей тип приводу здатний створювати великі збуджуючі зусилля при невисоких частотах коливань.

Після визначення співвідношення геометричних параметрів співвідношення діаметру отвору у поршні до діаметра камери пульсації – від 0,06 до 0,1 м та сили гідродинамічного тиску на поршень [12], вибору амплітуди (від 2 до 2,5 мм) та частоти коливань (від 16 до 20 Гц) розраховується діаметр шийки вала під ексцентрик.

В місці посадки ексцентрика на вал діє сила  $F$ :

$$F = F_{in} + F_{din}, \quad (1)$$

де  $F_{in} = m \cdot A \cdot \nu$  – сила інерції, яка утворюється коливальним рухом;  $A$  – амплітуда коливань;  $\nu$  – частота коливань;  $m$  – маса рухомих частин устаткування;  $F_{din} = P_{max} \cdot S$  – динамічна сила, що виникає внаслідок виникнення тиску  $P_{max}$  в камері пульсації, який діє на площу поршня  $S$ .

Проводиться розрахунок розміру вала за моментом, який виникає під ексцентриком:

$$M_{32} = F \cdot L, \tag{2}$$

де  $L$  – довжина консолі вала під ексцентриком.

Діаметр вала під ексцентриком визначаємо за формулою:

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{M_{32}}{0,1 \cdot [\sigma_{32}]}} \tag{3}$$

де  $[\sigma_{32}] = 45$  МПа для Сталі 45.

Після розрахунку розмірів вала підбираються конструктивні параметри ексцентрика. Найменший розмір стінки ексцентрика, з точки зору технологічності виготовлення, приймається товщиною один мм. Тоді внутрішній діаметр підшипника можна визначити за залежністю:

$$d_{вн}^{внутр} = d_{кул}^{зовн} \geq d_{вала} + e + 1 \text{ мм}, \tag{4}$$

де  $d_{вн}^{внутр}$  – внутрішній діаметр підшипника;  $d_{кул}^{зовн}$  – зовнішній діаметр ексцентрика;  $d_{вала}$  – діаметр вала під ексцентрика;  $e$  – величина ексцентриситету.

Для поршня діаметром від 100 до 120 мм рекомендується вибирати діаметр повзуна від 10 до 12 мм. Вузол повзун-втулка необхідно змащувати консистентним мастилом. Вісь, яка з'єднує повзун з шатуном, виготовляється індивідуально точінням у розмір, який отримують після одночасного розвірчування отворів у зборі повзуна з шатуном. Це робиться для зменшення втрат амплітуди коливань повзуна та шумових характеристик вузла.

Наступний етап розрахунку, з метою запобігання заклинювання та швидкого зношування вузла повзун-втулка, проводиться визначення довжини втулки  $l$  в залежності від конструктивного вибору діаметра повзуна  $d$  та для перевірки умов заклинювання вузла рекомендується користуватись приведеними нижче умовами (6) [13]. Для визначення кута  $\mu$  наведемо приклад його розрахунку застосувавши розрахункову схему, представлену на рис. 5:

$$\text{tg} \mu = \frac{e}{h},$$

де  $e$  – величина ексцентриситету (від 2 до 2,5 мм);  $h$  – величина відстані від осі вала до осі отвору повзуна.

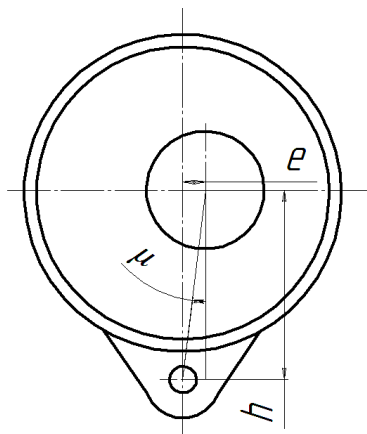


Рис. 5. Схема розташування конструктивних параметрів для визначення кута  $\mu$

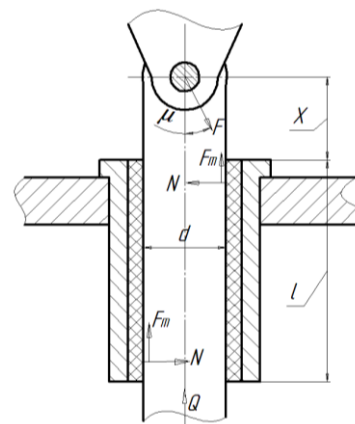


Рис. 6. Схема сил для визначення довжини втулки повзуна залежно від діаметра та кута  $\mu$

В поступальній парі результуюча сила тертя  $F_m$  залежить не лише від матеріалів поверхонь, що труться, які враховуються коефіцієнтом тертя  $f$ , але й від точки прикладання та спрямовування сили і розмірів повзуна. При дії на повзун сили опору  $Q$  сила  $F$ , яка зсуває та складає з віссю повзуна кут  $\mu$  (див. рис. 6), визначається за формулою [13]:

$$F = \frac{Q}{\cos \mu - f \cdot \sin \mu \left(1 + \frac{2x - f \cdot d}{l}\right)}, \tag{5}$$

і буде тим менше, чим більше довжина  $l$  втулки, і чим менше розмір  $d$  та відстань  $x$ . Якщо будуть виконуватися умови:

$$\operatorname{tg}\mu = \frac{1}{f\left(1 + \frac{2x - f \cdot d}{l}\right)} \text{ або } x \geq \frac{1}{2} \frac{1}{f \cdot \operatorname{tg}\mu} - 1 + \frac{f \cdot d}{l}, \quad (6)$$

то повзун заклиниться, і його рух стане неможливим.

Після визначення розмірів повзуна: діаметра та довжини перевіряємо пару повзун – напрямна втулка на стійкість проти зношування за формулою:

$$P = \frac{F_{\max}}{d \cdot l} \leq [P], \quad (7)$$

де  $F_{\max}$  – максимальна сила, що зсуває, Н;  $d$  – діаметр повзуна, мм;  $l$  – довжина втулки, мм;  $[P]$  – допустиме значення тиску для втулки з фторопласту, (від 2,5 до 25 МПа).

Ущільнення поршня з камерою пульсації здійснюється за допомогою гумових кілець  $V$  – подібного січення, для цього поршень робиться збірним. Для гасіння паразитних коливань необхідно застосовувати масивну основу машини та встановлювати її на вібраційні опори. Ексцентрикний привод з повзуном необхідно закривати кожухом.

### Висновки

У результаті експериментальних досліджень зміни показників водопровідної води, обробленої кавітацією у вібраційній машині поршневого типу, встановлено, що після оброблення за період 10 хв, збільшується концентрація вільних іонів водню у воді, відповідно показник рН збільшується до 8,4 рН, зменшується показник ОРР, що говорить про насичення киснем рідинного середовища, зменшення показника TDS 420 до 330 одиниць говорить про зменшення солевого складу, а в цілому про поліпшення властивостей води. У результаті проведених досліджень по знезаражуванню річкової води встановлено, що після оброблення кавітацією 20 хв річкової води, деякі види колоній бактерій знищуються, а кількість деяких колоній бактерій зменшується у десятки разів.

Застосування вібраційної машини поршневого типу призводить до зміни певних властивостей води та підтверджує її працездатність з метою попереднього безреагентного знезаражування. Запропоновані підходи по проектуванню вібраційної машини поршневого типу дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин, призначених для впливу на властивості води та її знезаражування.

Отримані результати можуть бути враховані при розробці технологій та конструкцій вібраційних машин для очищення стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів тощо.

### Література

1. Кавітаційна обробка та її вплив на склад води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока // Вісник ТУП. – № 3. – 2002. – С. 253–257.
2. Сілін Р.І. Науково-технічні основи розроблення вібромашин для впливу на властивості води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 4(56) – С. 141–148.
3. Рождественский В.В. Кавитация / В.В. Рождественский. – Ленинград : Судостроение, 1977. – 240 с.
4. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хеммит. – М. : Мир, 1974. – 687 с.
5. О соотношении коррозионного и эрозионного факторов в кавитационном разрушении металлов / Ю.А. Карасюк, В.И. Кочеров, В.В. Бенино и др. // Физ.-хим. механика материалов. – 1976. – № 5. – С. 14–16.
6. Тимербулатов М.Г. Влияние коррозии на кавитационную стойкость металлов / М.Г. Тимербулатов // Защита металлов. – 1972. – Т. 8, № 5. – С. 583–587.
7. Шевчук Л.І. Вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії / Л.І. Шевчук, А.І. Афтаназів, О.І. Строган // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : Український міжвід. наук.-техн. зб. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. № 45. – С. 374–380.
8. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори : монографія / Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, В.Л. Старчевський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2013. – 173 с.
9. Сілін Р.І. Властивості води та сучасні способи її очищення : монографія / Р.І. Сілін, Б.А. Баран, А.І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 254 с., іл.
10. Пат. на корисну модель №126495 України. МПК (2006) C02F 1/00. Вібраційна машина для знезаражування водних середовищ / А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк. – № u 2018 10090 ; заяв. 02.01.2018 ; опубл. 25.08.2018, Бюл. № 12. 6 с.
11. Пат. на корисну модель № 128630 України. МПК G01N 21/79 (2006), G01N 21/3577 (2014). Спосіб кристалооптичного аналізу структурної будови води та ступеню її активації і забруднення біологічними рештками / А.Л. Ганзюк, В.П. Олександренко, А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк. – № u201804393 ; заяв. 20.04.2018 ; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18. 10 с.
12. Костюк Н.О. Визначення частотних параметрів роботи приводу вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води / Н.О. Костюк, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв // Матеріали

XVI міжнародної науково-практичної конференції «Динаміката на съвременната наука». – София : «Бял ГРАД-БГ ОДД», 2020. – Vol. 4. – С. 88–92.

13. Кожевников С. Н. Механизмы : справочник / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин ; под ред. С. Н. Кожевнокова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с.

#### References

1. Silin R.I., Hordeev A.I., Tretyko V.V., Soroka I.I. Cavitation treatment and its effect on water storage. Herald of Technological University of Podillya. № 3. 2002, pp. 253-257.
2. Silin R.I., Hordeev A.I. Scientific-technical bases of development of vibrating machines for influence on water properties of vibration in technology and technologies. 2009. № 4 (56), pp. 141-148.
3. Rozhdestvensky V.V. Cavitation. Leningrad: Shipbuilding, 1977, 240 p.
4. Knapp R., Daley J., Hammith F. Cavitation. Per. from english. M.: Mir, 1974, 687 p.
5. Karasyuk Yu.A., Kocherov V.I., Benino V.V. The correlation of corrosion and erosion factors in cavitation fracture of metals. Physical chemistry Mechanics of Materials, 1976, № 5, pp. 14-16.
6. Тумербулатов М.Г. Influence of corrosion on cavitation resistance of metals. Scale of metals. 1972. Т.8, № 5, pp. 583-587.
7. Shevchuk L.I., Aftanazov I.S., Strogan O.I. Vibrational electromagnetic cavitator of resonant action // Automation of production processes in mechanical engineering and instrumentation. Ukrainian intermediate. Sci.-Tech. save National University Lviv Polytechnic University. 2011. № 4. pp. 374-380.
8. Shevchuk L.I., Aftanazov I.S., Strogan O.I., Starchevsky V.L. Low-frequency vibration resonator cavitators: monograph. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic. 2013, 173 p.
9. Silin R.I., Baran B.A., Hordeev A.I. Properties of water and modern ways of its purification: monograph. Khmelnytskyi: KhNU, 2009. 254 p.
10. Patent to the utility model № 126495 of Ukraine. IPC (2006) C02F 1/00. Vibration machine for decontamination of aqueous media / A.I. Hordeev, N.O. Kostyuk; № 2018 10090; statements. 01.02.2018; has published Aug 25, 2018, Bul. № 12, 6 p.
11. Pat. on the utility model №128630 of Ukraine. IPC G01N 21/79 (2006), G01N 21/3577 (2014). The method of crystal-optical analysis of the structural structure of water and the degree of its activation and pollution by biological residues / A.L. Hanzhiuk, B.II. Oleksandrenko, A.I. Hordeev, N.O. Kostyuk; № u201804393; application. 04/20/2018; publ. 25/09/2018, Bull. № 18, 10 p.
12. Kostyuk N.O., Hordeev A.I., Hordeev O.A. Determination of frequency parameters of the drive of the vibrating machine for disinfection and change of properties of water / Proceedings of the XVI international scientific-practical conference "Dynamics of modern science". Vol. 4 Sofia, Biyal GRAD-BG ODD, 2020, pp. 88-92.
13. Kozhevnikov S.N., Esipenko J.I., Raskin J.M. Mechanisms: reference book; under ed. S.N. Kozhevnikov. Ed. 4th, reworked. and ext. M.: Mechanical engineering, 1976, 784 p.

Рецензія/Peer review : 16.09.2020 p.

Надрукована/Printed :06.11.2020 p.

## ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РІДИННОГО АВТОБАЛАНСУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ. РОЗРАХУНОК ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

У статті висвітлено результати розробки і аналізу математичної моделі переміщення рідини в камері пасивного автобалансувального пристрою (АБП) під впливом зміни сумарного дисбалансу системи і прогину вала. Показано, що врахування властивостей реальних роторних систем і рідинних середовищ при моделюванні процесу автобалансування дозволило розробити теоретичне обґрунтування автоматичного балансування рідиною роторів з вертикальною віссю обертання. Аналіз моделі на основі теорії параметричних екстремальних задач з похідною дозволяє встановити, що ефективність автоматичного балансування залежить від відношення кутової швидкості до критичної, коефіцієнта зовнішнього опору, відношення початкового дисбалансу до дисбалансу рідини і відносних розмірів АБП; в'язкість рідини в реальних системах призводить до того, що рідина може зупинитися на деякій відстані від положення рівноваги, тобто в'язка рідина має зони рівноваги. Побудована залежність, дає можливість створити інженерну методику розрахунку параметрів рідинного АБП. Основна ідея методики, полягає у розв'язанні ряду оптимізаційних задач: задаючи величину радіуса камери АБП, як максимально можливу за конструкцією машини, розроблено прикладну програму розрахунку оптимального співвідношення геометричних параметрів, за якого досягається максимум ефективності роботи рідинного АБП, і визначаємо висоту камери; користуючись алгоритмом визначення оптимального заповнення камери АБП рідиною заданої густини визначаємо ємність, запас ємності АБП і оптимальний підбір в'язкої рідини для системи із заданими параметрами, при якому досягається мінімум розширення зони рівноваги. Для реалізації методики розрахунку оптимальних параметрів рідинного АБП розроблено програмний продукт. Розглядувані підходи до вирішення поставлених завдань є авторською розробкою. Вивчення і розв'язання проблем теорії і практики зрівноваження роторів пасивних АБП дозволить розширити області застосування простих і невибагливих конструкцій АБП з рідинними робочими тілами, що має важливе технічне, економічне, екологічне і соціальне значення.

Ключові слова: пасивний автобалансир, автобалансувальний пристрій, обертове тіло, вібрації, змінний дисбаланс, ефективність зрівноваження.

I. V. DRACH

Khmelnytskyi National University

### THE OPTIMIZATION PROBLEMS IN A STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE AUTO-BALANCING DEVICE WITH A LIQUID. METHOD TO CALCULATE PARAMETERS OF THE DEVICE

The results of the development and analysis of the mathematical model of fluid displacement in the chamber of a passive self-balancing device (ABD) under the influence of changes in the total imbalance of the system and the deflection of the shaft are covered in the article. It is shown that taking into account the properties of real rotary systems and fluid media in modelling the auto-balancing process allowed to develop a theoretical justification for automatic balancing of rotors with vertical axis of rotation. Analysis of the model based on the theory of parametric extreme problems with a derivative allows us to establish that the efficiency of automatic balancing depends on the ratio of the angular velocity to the critical, the coefficient of external resistance, the ratio of the initial imbalance to the imbalance of the fluid and the relative size of the ABD; the viscosity of the fluid in real systems causes the fluid to stop at some distance from the equilibrium position, that is, the viscous fluid has equilibrium zones. The mathematical model of the behaviour of the liquid ABD is made, it is possible to create an engineering method for calculating its parameters. The main idea of which is to solve a number of optimization problems: specifying the radius of the ABD's chamber ( $R$ ) as the maximum possible in the design of the machine, developed an application program to calculate the optimal ratio  $h/R$ , which achieves the maximum efficiency of the liquid ABU, and determine camera height ( $h$ ); using the algorithm to determine the optimal filling of the ABD's chamber with a liquid of a given density, we determine the capacity, the reserve capacity of the ABD and the optimal selection of viscous fluid for a system with specified parameters, which achieves a minimum expansion of the equilibrium zone. A software product was developed to implement the method of calculating the optimal parameters of a liquid ABD. The considered approaches to solving the set tasks are author's development. Studying and solving the problems and theory of equilibration of passive ABD's rotors will allow us to expand the scope of simple and unpretentious ABD designs with liquid working bodies, which is of great technical, economic, environmental and social importance.

Keywords: passive automatic balancer, self-balancing device (ABD), solid of revolution, vibration, variable imbalance, efficiency balancing.

### Вступ

За допомогою пасивного рідинного автоматичного балансування можна підвищувати ресурс і надійність машин зі змінним за часом і/або місцерозташуванням дисбалансом ротора. До таких машин належать сепаратори та центрифуги, які використовуються в різних галузях народного господарства (харчовій, хімічній, цукровій, гірничій і т.д.), медицині, побуті, гребні корабельні гвинти, вітряки в новітніх екологічно чистих сучасних технологіях енергозабезпечення, колеса автомобільної й авіаційної техніки [1, 2].

У цьому випадку пасивне автоматичне балансування – технологічний процес суміщення головної центральної осі інерції ротора з віссю його обертання, що здійснюється за допомогою автобалансувальних пристроїв (АБП), під якими розуміють пристрої, що автоматично на ходу зменшують дисбаланс ротора в експлуатаційних умовах. У цій статті подано основні результати вивчення роботи пристроїв автоматичного

балансування (самобалансування), які мають вигляд порожнистої камери, частково заповненої робочими тілами (рідиною, сипучими тілами) і є пасивними регуляторами прямої дії, що не потребують підводу енергії та системи керування для переміщення корегувальних мас. Простота і невибагливість конструкції таких пристроїв та їх догляду, можливість багаторазового використання без переналагодження, низька вартість робить доцільним їх застосування в широкому класі машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема застосування пасивних АБП для балансування роторів машин у різний час займались Леблан Мауріс (1916), Сірл Ернест Л. (1932), Ден-Гартог Дж. П. (1960), Даєр Джон (1945), Ларрі Дж. (1955). Відомими у галузі автобалансування і віброзахисту роторів є наукові школи Гусарова А.О. [3] (Диментберг Ф.М., Каплунов С.М., Шаталов Л.М., Нікіфоров А.М. [4]), Несторенка В.П. [5] (1990) (Соколов О.П., Замятін В.М., Дубовик В.О., Пашков Є.М. [6, 7]), Філімоніхіна Г.Б. [8], Ройзмана В.П. [9] (Малигін О.В., Чоловський Р.Г., Ткачук В.П.), Урбіоли-Сото Л. [10], Марлона Веслея [11], Сузукі С. [12].

Вперше зробив спробу теоретично обґрунтувати принцип дії рідинних, кільцевих, маятникових і кульових АБП у циклах своїх статей Сірл (E.L. Thearle) [13]. Він запропонував плоску модель ротора і АБП. У її рамках у ротора існує єдина критична швидкість, при перевищенні якої ротор починає обертатися легкою стороною назовні і починає проявлятися явище самоцентрування ротора, яке і було покладено Сірлем в основу принципу роботи усіх пасивних АБП. Насправді, тут явище самоцентрування видається за явище самобалансування.

Однак, підходи і результати робіт Сірла склали основу наступних досліджень науковців в галузі балансування роторів машин пасивними АБП. А отриманий без врахування специфічних властивостей корегувальних мас, сил опору, а відтак, теоретично необґрунтований і експериментально неперевірений висновок про обмеженість діапазону працездатності таких автобалансуючих пристроїв закритичною (або зарезонансною) зоною обертання ротора є недослідженим і до тепер.

Сучасні роботи з проблем пасивного автобалансування присвячені динаміці рідинного автобалансувального пристрою у застосуванні для побутових пральних машин. Усі ці роботи засновані на теоретичних підходах Сірла: Конрад (1994) [14] проаналізував АБП з декількома камерами у вигляді послідовних концентричних кільцевих порожнин, що мало забезпечити збільшення балансувальних властивостей рідини; Сузукі та ін. (2001) [12] розробили числову модель розподілу мас у пральній машині із рідинним балансиром; Моріо й Ютака (2002) [15] дали оцінку силі, створюваній рідинним балансиром за спостережуваними значеннями навантаження для всієї конструкції, що обертається; Бає (2002) [16] побудував рівняння руху сучасних вертикально-радіальних пральних машин, однак, камера і барабан, які обертаються, були представлені як два жорстко зв'язані жорсткі елементи, що обмежило рухи камери і барабана; Джанг (2008) [17] запропонував рідинний АБП з перегородками, для перевірки ефективності було застосовано метод розрахунку динаміки руху рідини; Урбіолою (2011) [10] вперше показані експериментальні та аналітичні дані для розуміння потоку рідини всередині балансувальної кільцевої камери та взаємодії його з перегородками; Ленгтсєм (2013) [18] зазначив демпфувальний ефект робочої рідини в камері АБП, який продукується зворотною хвилею; у статті Бобо Лі та ін. (2018) [19] розглянуто динамічну стійкість жорсткого ротора з рідинним АБП.

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. У всіх роботах стверджується, що необхідною умовою зменшення вібрацій є обертання ротора з кутовою швидкістю, яка перевищує критичну. Існування балансування на докритичних режимах заперечується. У ході аналізу наукових праць з інженерного розрахунку, теоретичного і експериментального дослідження роботи АБП з вільним переміщенням коригувальних мас з'ясовано, що ґрунтового комплексного дослідження проблеми автоматичного зрівноваження обертючих тіл рідиною не існує, а існуючі теоретичні ствердження обмежуються розглядом ідеалізованої роторної системи без демпфування і без урахування фізичних властивостей рідини, сили ваги, коливальних рухів на поверхні і всередині рідинного шару. Тому доцільним є розробити теорію рідинних автобалансувальних пристроїв, яка є адекватною реальній системі ротор – рідинний АБП, що дасть можливість розробити методіку розрахунку оптимальних параметрів для рідинного автобалансувального пристрою.

У роботі [20] була розглянута механічна система, яка є жорстким тілом з циліндричною камерою, частково заповненою рідиною, і побудована та проаналізована математична модель її стаціонарного руху. В основу математичної моделі покладено принцип найменшої дії у формі Гамільтона-Остроградського. Дослідження руху системи на стійкість зводилось до задачі на мінімум виразу для зміненої потенціальної енергії системи. Показано, що умова стійкості виконується, якщо висота циліндричної порожнини  $h$  буде значно менша за її радіус  $R$ , що надалі дає можливість коректного переходу до розгляду плоских моделей поведінки рідини, оскільки розглянута модель не дає пояснення, як саме і під дією яких сил відбувається переміщення рідини в камері АБП.

Мета дослідження. У цій статті висвітлено результати розробки і аналізу математичної моделі переміщення рідини в камері АБП під впливом зміни сумарного дисбалансу системи і прогину вала. Для цього розглянуто роботу найпростішої роторної системи, що містить у собі АБП, який має вигляд циліндричної порожнини радіуса  $R$  і висотою  $h$  із рідиною (дисбаланс якої є меншим за дисбаланс ротора), для вертикального гнучкого ротора на двох жорстких опорах, що обертається з кутовою швидкістю  $\omega$  при різних її значеннях ( $\omega = 0$ ,  $\omega \ll \omega_{кр}$ ,  $\omega < \omega_{кр}$ ,  $\omega \approx \omega_{кр}$ ,  $\omega > \omega_{кр}$ ). У кожному з випадків побудовано



геометричну модель поведінки системи. На основі моделювання поведінки рідини в камері АБП розроблено програмне забезпечення для визначення оптимальних параметрів рідинного автобалансувального пристрою, оптимального підбору рідини за в'язкістю.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Теоретичні дослідження процесу автобалансування виконані за допомогою методів математичного моделювання. Експериментальні дослідження роботи рідинного АБП проводились із застосуванням методів швидкісної відеозйомки на спеціально розроблених стендах з віброапаратурою. У роботі представлено результати натурних експериментів з макетами рідинних АБП.

Об'єкт досліджень – методика розрахунку параметрів рідинного автобалансувального пристрою для забезпечення ефективності самозрівноваження механічних систем, що обертаються, шляхом переміщення рідинних матеріалів, які входять до складу цих систем.

Предметом дослідження є математичні моделі переміщення рідини в камері АБП під впливом зміни сумарного дисбалансу системи і прогину.

### Результати теоретичних досліджень

Сумарний дисбаланс системи ротор – рідина  $\overline{D}_c$  складається з векторної суми дисбалансу вала  $\overline{D}_0$  і дисбалансу рідини  $\overline{D}$ . Нехай  $O$  – точка перетину осі вигнутого вала з площиною порожнини (рис. 1);  $O_1$  – лінія підшипників;  $C_0$  – центр мас вала,  $C$  – центр мас рідини,  $C_c$  – центр мас системи вал – рідина;  $M$  – маса вала,  $m$  – маса рідини;  $\overline{OC} = \overline{e} = \frac{\overline{D}}{(m+M)}$  – «орієнтований» ексцентриситет центра мас рідини в системі

«АБП – рідина»; вектор  $\overline{OC}_0 = \overline{e}_0 = \frac{\overline{D}_0}{(m+M)}$  – «орієнтований» ексцентриситет ротора маси  $M$ ;

$\overline{OC}_c = \overline{e}_c = \frac{\overline{D}_c}{(M+m)}$  – «орієнтований» сумарний ексцентриситет ротора з рідиною.

У статті для наочності теоретичні викладки супроводжуються комп'ютерними відеокadрами положень рідини в АБП, одержаними шляхом використання методу швидкісної відеозйомки, що докладно описаний у [13].

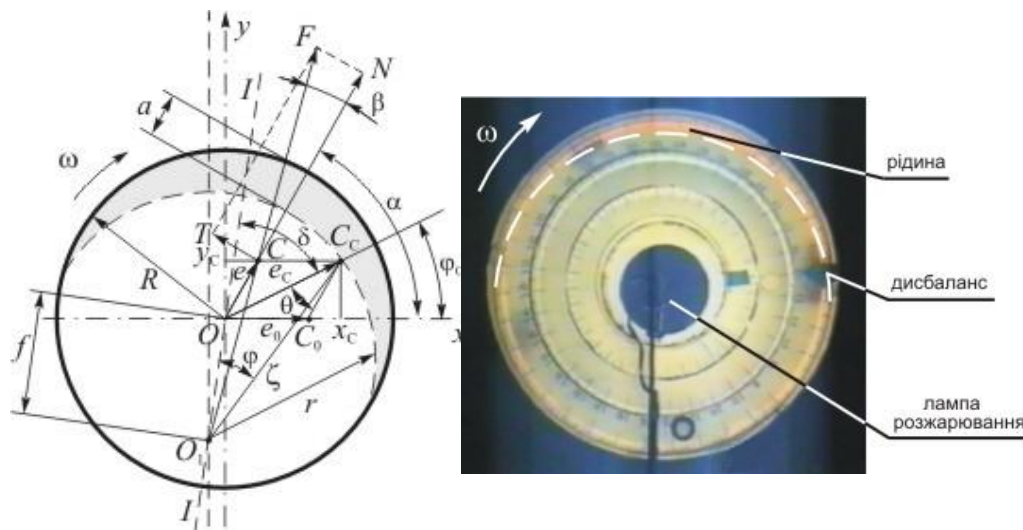


Рис. 1. Сили, які діють в АБП за наявності опору

Для дослідження положення рідини відносно дисбалансу вала і ефективності балансування розглянемо геометричну модель роботи системи (рис. 1) при обертанні ротора на докритичній швидкості із врахуванням зовнішнього демпфування.

При швидкості обертання системи  $\omega < \omega_{кр}$  зовнішній опір (сили тертя в підшипниках, сили тертя циліндра об повітря і т.д.) обумовлює відставання площини прогину (I – I) від площини сумарного дисбалансу ( $OC_c$ ) на кут  $\delta$  (рис. 1).

Рідина прагне зайняти положення в найбільш віддаленому місці від осі обертання, тобто в прогині. Це приводить до зміни сумарного дисбалансу системи за напрямком і величиною, оскільки величина сумарного дисбалансу  $\overline{D}_c = (M+m) \cdot \overline{e}_c$  визначається як геометрична сума векторів  $\overline{D}_0 = M \cdot \overline{e}_0$  – дисбалансу ротора і  $\overline{D} = m \cdot \overline{e}$  – дисбалансу рідини й залежить від кута між цими векторами  $\alpha$  (рис. 1), який характеризує положення рідини відносно дисбалансу ротора. Оскільки для даної кутової швидкості кут відставання прогину від сумарного дисбалансу  $\delta$  є постійним, то зі зміною напрямку сумарного дисбалансу змінюється і положення прогину відносно початкового дисбалансу  $\overline{D}_0$  (тобто кут цього відставання відносно початкового дисбалансу збільшується). Рідина слідуючи за прогином, знову змінює сумарний

дисбаланс, збільшуючи кут  $\alpha$  і зменшуючи величину сумарного дисбалансу. Це приводить до зменшення величини прогину і зміни його положення відносно  $\bar{D}_0$  (тобто до збільшення кута відставання). Теоретично цей процес повторюється поки кут відставання  $\alpha$  не набуде значення  $180^\circ$ , а прогин не набуде мінімального значення (або 0 – при повному зрівноваженні).

Покажемо це аналітично. Сумарний ексцентриситет ротора з рідиною визначимо як:

$$e_c = \sqrt{x_c^2 + y_c^2} = e\sqrt{1 + 2k \cos \alpha + k^2}.$$

де  $k = \frac{D_0}{D}$  – відношення дисбалансів ротора і рідини.

Аналіз геометричної моделі (рис. 1) показує, що умовою рівноваги рідини без врахування сил натягу є відсутність тангенціальної складової  $\bar{T}$  відцентрових сил інерції  $\bar{F}$  (рис. 1), або:

$$\operatorname{tg} \beta = 0, \text{ або } f [\operatorname{tg} \alpha \cos(\delta + \phi_c) - \sin(\delta + \phi_c)] = 0.$$

Останнє рівняння розкладається на дві умови (нуль в індексі відповідає значенням кутів для положення рівноваги рідини ( $\beta = 0$ )):

$$f = 0; \tag{1 а}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 \cos(\delta + \phi_{0c}) - \sin(\delta + \phi_{0c}) = 0. \tag{1 б}$$

Умова (1 а)) відповідає випадку відсутності прогину, що суперечить умові задачі для пружно-деформівного ротора. А з умови (1 б)) випливає, що при рівновазі рідини:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg}(\delta + \phi_{0c}).$$

Враховуючи значення  $e, e/e_0, e_c$  і, що  $\theta = \alpha - \phi_c$  [13], одержуємо:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{k} \sin \delta \sqrt{1 + 2k \cos \alpha_0 + k^2}. \tag{2}$$

З рівності (2) слідує, що при відсутності зовнішнього опору в системі ( $\delta = 0, k \neq 0$ ) положення рівноваги рідини співпадає за кутом з положенням дисбалансу ротора ( $\alpha = 0$ ), що відповідає висновку про те, що в системі без зовнішнього демпфування рідина збільшує дисбаланс.

Шляхом алгебраїчних перетворень виразу (2) при  $\delta \neq 0, k \neq 0$  одержимо вираз для визначення кута  $\alpha_0$ , який відповідає положенню рівноваги рідини ( $\beta = 0$ ):

$$\alpha_0 = \pi - \arccos(\sin^2 \delta + \sqrt{(\sin^2 \delta - 1) \cdot (\sin^2 \delta - k^2)}) \tag{3}$$

Проаналізувавши вираз (3), одержимо, що аргумент арккосинуса додатній вираз, а тому навіть на докритичних частотах обертання ротора при  $\delta \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right)$  кут  $\alpha_0 \in \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right)$ .

Ефективність балансування характеризується відношенням відхилень від осі обертання центра мас системи без рідини і з рідиною  $\lambda_0$ :

$$\lambda_0(k) = \frac{k}{\sqrt{1 + 2k \cos \alpha_0 + k^2}}; \tag{4}$$

Дослідимо функцію (4) на екстремум. Для цього застосуємо методи теорії екстремальних задач з параметром. Знайдемо локальні екстремуми функції  $\lambda_0(k)$  в залежності від параметра  $\alpha_0$ . При  $\cos \alpha_0 \neq \pm 1$  область визначення  $k \in (-\infty; +\infty)$ . Знаходимо похідну:

$$\lambda_0'(k) = \frac{1 + k \cos \alpha_0}{(1 + 2k \cos \alpha_0 + k^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Похідна  $\lambda_0'(k)$  дорівнює нулю при  $k = -\frac{1}{\cos \alpha_0}$ . Звідси дістаємо стаціонарну точку  $k = -\frac{1}{\cos \alpha_0}$ .

Точок, в якій похідна  $\lambda_0'(k)$  не існує, немає. Отже, стаціонарна точка є єдиною критичною точкою даної функції, тому можна знайти екстремуми за другою достатньою умовою: оскільки

$\lambda_0''(k) = \frac{-k \cdot \sin^2 \alpha_0}{(1 + 2k \cos \alpha_0 + k^2)^{\frac{5}{2}}}$  і  $\lambda_0''(k) < 0$ , то  $k = -\frac{1}{\cos \alpha_0}$  – точка локального максимуму,

$$\lambda_{0\max} = -\frac{1}{\cos \alpha_0 \cdot |\operatorname{tg} \alpha_0|}.$$

За умовою задачі  $k \geq 0$ . Тому для точки локального максимуму має виконуватись умова  $\cos \alpha_0 < 0$  на проміжку  $[0; 2\pi]$ , тобто  $\alpha_0 \in \left(\frac{\pi}{2}; \frac{3\pi}{2}\right) \setminus \{\pi\}$ . А отже,  $\lambda_{0\max} = \left| \frac{1}{\sin \alpha_0} \right|$ . Крім того, якщо  $\alpha_0$  прямує до  $\pi/2$  або до  $3\pi/2$ , то значення  $k$  є нескінченно великим. Що за фізичним змістом величини  $k$  не може мати місця.

Якщо  $\alpha_0$  прямує до  $\pi$ , то значення  $k$  прямує до 1, а  $\lambda_{0\max} \rightarrow \infty$ . Такий результат можна трактувати як повне зрівноваження системи.

Розглянемо випадки  $\cos \alpha_0 = \pm 1$ . При  $k \geq 0$  розглядувані умови зводяться до  $\cos \alpha_0 = -1$ .

$$\lambda_0(k) = \frac{k}{(1-2k+k^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{k}{|1-k|}. \text{ При } 0 \leq k < 1 \quad \lambda_0(k) = \frac{k}{1-k} = \frac{k}{1-k}. \text{ Її похідна } \lambda_0'(k) = \frac{1}{(1-k)^2}$$

додатна і не дорівнює нулю для всіх  $k \in [0; 1)$ . При  $k > 1 \quad \lambda_0(k) = \frac{k}{|1-k|} = \frac{k}{k-1}$ . Її похідна

$\lambda_0'(k) = \frac{-1}{(k-1)^2}$  від'ємна і не дорівнює нулю для всіх  $k \in (1; +\infty)$ . В точці  $k=1$  функція й її похідна не існують.

Якщо критичних точок функція не має, то вона не має і екстремумів, а функція  $\lambda_0(k) = \frac{k}{(1-2k+k^2)^{\frac{1}{2}}}$  зростає на проміжку  $k \in [0; 1)$  і спадає на проміжку  $k \in (1; +\infty)$ . В точці  $k=1$  функція

$\lambda_0(k)$  необмежено прямує в  $+\infty$ . Це дослідження вказує на те, що єдиним фізично виправданим розв'язком задачі є значення  $k=1$  при  $\cos \alpha_0 = -1$ , тобто при  $\alpha_0 = \pi$ . При  $k=1$   $1+2k\cos \alpha_0+k^2=0$ , що буде відповідати повному зрівноваженню.

Отже, найбільший ефект балансування досягається, коли величина дисбалансу рідини, яка бере участь у балансуванні, буде близька до початкової величини дисбалансу ротора ( $k \approx 1$ ).

Дослідження із в'язкою рідиною в цілому підтверджують попередньо одержані результати. Внутрішнє тертя між шарами реальної рідини (в'язкість рідини) призводить лише до того, що рідина може зупинитися не в обумовленому рівнянням (1, б) положенні рівноваги, а на деякій відстані від нього, тобто в'язка рідина має зони рівноваги, межі яких аналітично визначені нерівностями:

$$-\frac{\frac{8\pi^2 \mu \cdot R \cdot \xi}{180 \cdot m \cdot \omega}}{\sqrt{1 - \left(\frac{8\pi^2 \mu \cdot R \cdot \xi}{180 \cdot m \cdot \omega}\right)^2}} \leq \operatorname{tg} \beta \leq \frac{\frac{8\pi^2 \mu \cdot R \cdot \xi}{180 \cdot m \cdot \omega}}{\sqrt{1 - \left(\frac{8\pi^2 \mu \cdot R \cdot \xi}{180 \cdot m \cdot \omega}\right)^2}}. \quad (5)$$

З аналізу (5) випливає, що збільшення швидкості обертання веде до звуження меж зон рівноваги, тобто і в'язка рідина намагається зупинитись точно проти дисбалансу. При збільшенні в'язкості межі зон рівноваги розширюються. Тому при наявності в'язкості зрівноважування дисбалансу буде неповним.

За результатами аналізу побудованих геометричних моделей у закритичній області обертання ротора ( $\omega > \omega_{\text{кр}}$ ) також відбувається самоцентрування ротора, а процес автобалансування ротора рідиною проявляється у зменшенні відхилень системи в порівнянні з випадком обертання ротора без рідинного автобалансира за рахунок зменшення сумарного дисбалансу (при  $\omega > \omega_{\text{кр}}$  сумарний дисбаланс системи становить  $e_c = e_0 - e$  і є меншим за  $e_0$ ). Автоматичне балансування рідиною на відміну від самоцентрування автоматично забезпечує зрівноваження незбалансованого вала при різних, заздалегідь нефіксованих величинах дисбалансу і будь-яких кутових швидкостях. Завдяки цьому зрівноваженню при будь-яких значеннях кутової швидкості вал залишається не прогнутим (або менш прогнутим), а динамічні тиски на підшипники відсутні (або зменшені). В цьому полягає вигідна відмінність самозрівноваження від самоцентрування.

Отже, ефективність автоматичного балансування залежить від коефіцієнта зовнішнього опору, відношення початкового дисбалансу до дисбалансу рідини і відносних розмірів АБП. Одержана аналітична залежність між цими величинами дозволяє розробити інженерну методику розрахунку параметрів рідинних АБП. Одним із чинників, які визначають можливість і якість балансування, є правильність вибору параметрів АБП: його енергоємності (величини балансуєчої сили), параметрів і кількості коригувальної рідини, геометричних параметрів камери АБП.

Вхідними даними для розрахунку параметрів елементів АБП є:

- $D_0$  - максимально можливий при експлуатації дисбаланс, г·см;
- $k_{\text{запасу}} = 1,1 \dots 1,25$  - коефіцієнт запасу енергоємності АБП;
- $\rho$  - густина рідини, що заповнює камеру, г/см<sup>3</sup>;
- $R$  - радіус камери, см або  $h$  - висота камери, см.

Дані, які дозволяють розрахувати критичну кутову швидкість  $\omega_{кр}$  без камери АБП і з камерою АБП, рад/с:

$2n = \mathcal{G} \cdot \omega_{кр}$  – коефіцієнт демпфування ротора;

$\mathcal{G}$  – логарифмічний декремент затухання коливань;

$\gamma = \omega / \omega_{кр}$  – відносна робоча кутова швидкість ротора.

Вихідними даними є: оптимальні параметри рідинного АБП для заданої роторної системи, а саме: геометричні розміри камери АБП, ємність АБП, в'язкість коригувальної рідини ( $\nu$  – кінематична в'язкість рідини  $\text{см}^2/\text{с}$ ).

### Суть методики розрахунку параметрів рідинного АБП

За побудованою математичною моделлю поведінки рідинного АБП для вертикального ротора, викладеною вище, запропоновано розв'язувати прикладні задачі підбору оптимальних параметрів рідинного АБП для заданої роторної системи, визначати вплив зміни параметрів системи ротор – АБП – рідина на ефективність процесу балансування. Таким чином отримали ряд оптимізаційних задач з різними цільовими функціями. Задаючи величину радіуса камери АБП, як максимально можливу за конструкцією машини, визначаємо висоту камери. Для цього користуємось програмою обчислення оптимального співвідношення між радіусом і висотою камери АБП, при яких досягається максимум ефективності роботи рідинного АБП. Програма побудована на основі алгоритму розрахунку коефіцієнта ефективності балансування за формулою (4).

Енергоємність АБП дорівнює дисбалансу коригувальної рідини. Для визначення енергоємності і запасу енергоємності АБП користуємось алгоритмом визначення оптимального заповнення камери АБП рідиною заданої густини, при якому досягається максимум ефективності роботи рідинного АБП.

Завищувати запас енергоємності АБП не варто, оскільки це призведе до збільшення розмірів і ваги пристрою, у той час як пристрій велику частину часу зазвичай працює при менших значеннях дисбалансу.

Скориставшись залежностями (5), визначаємо оптимальний підбір рідини за в'язкістю для системи із заданими параметрами, при якому досягається мінімум розширення зони рівноваги.

### Перевірка адекватності математичної моделі поведінки рідини в камері АБП

Результати натурних експериментальних досліджень підтверджують адекватність побудованої моделі і інженерної методики розрахунку параметрів рідинного АБП.

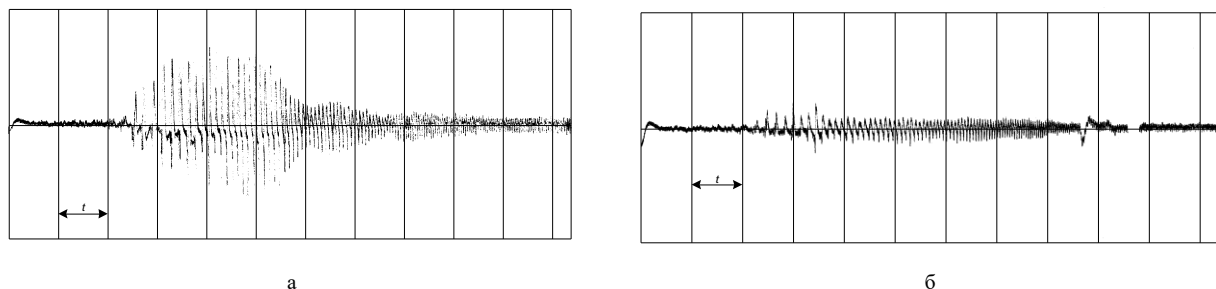


Рис. 2. Фрагменти осцилограм записів коливань верхнього краю барабана при виході на робочі частоти:

- а) запис коливань розбалансованого ротора при дисбалансі 2000 г·см;  
б) запис коливань при встановленні АБП з прісною водою (об'єм рідини 100 мл)

Так, на рис. 2 подано фрагменти осцилограм записів коливань верхнього краю барабана з АБП на прохід від 0 рад/с до робочих швидкостей обертання ротора (87,9 рад/с) з заповненням камери водою прісною (масою 100 г). Ефективність зрівноваження початкового дисбалансу 2000 г·см на резонансній швидкості 59,7 рад/с становить 1,7.

Розроблена методика є добре алгоритмованою. Для її реалізації розроблено програмне забезпечення. Програмування здійснювалось за допомогою C# у середовищі microsoft visual studio.

Для перевірки адекватності математичної моделі поведінки рідини в камері АБП і верифікації програмного забезпечення здійснено співставлення результатів теоретичних розрахунків і натурних експериментів на спеціально сконструйованому стенді. У результаті розрахунку за алгоритмом одержано значення коефіцієнта ефективності  $\lambda_0$  процесу балансування для заданого діапазону кутових швидкостей. Значення коефіцієнта ефективності балансування, визначені експериментально як відношення амплітуд коливань верхнього краю барабана експериментальної установки без рідини в АБП і з рідиною на основі обробки осцилографічних стрічок. Значення коефіцієнта ефективності балансування ротора рідинним АБП, знайдені теоретичним і експериментальним шляхами, відрізняються одне від одного не більше ніж на 16 %.

### Висновки

Одержані результати цього дослідження дають можливість пояснити поведінку рідини в камері АБП, і зв'язати аналітично геометричні і фізичні параметри рідинного АБП і системи «ротор – рідинний АБП – рідина» з ефективністю зрівноваження, що, в свою чергу, дає можливість розробити методику

розрахунку оптимальних параметрів рідинного АБП. Розроблене теоретичне обґрунтування автоматичного балансування рідиною роторів з вертикальною віссю обертання відрізняється від існуючих положень врахуванням гідравлічних властивостей рідини і демпфування системи.

Показано, що ефективність автоматичного балансування залежить від коефіцієнта зовнішнього опору, відношення початкового дисбалансу до дисбалансу рідини і відносних розмірів АБП. Одержана аналітична залежність між цими величинами дозволяє розробити інженерну методику розрахунку параметрів рідинних АБП. Основна ідея якої, полягає у розв'язанні ряду оптимізаційних задач: задаючи величину радіуса камери АБП, як максимально можливу за конструкцією машини, за розробленою прикладною програмою розраховуємо оптимальне співвідношення  $h/R$ , при якому досягається максимум ефективності роботи рідинного АБП, і визначаємо висоту камери; користуючись алгоритмом визначення оптимального заповнення камери АБП рідиною заданої густини визначаємо ємність, запас ємності АБП і оптимальний підбір в'язкої рідини для системи із заданими параметрами, при якому досягається мінімум розширення зони рівноваги. Для реалізації методики розрахунку оптимальних параметрів рідинного АБП розроблено програмний продукт.

Перевірку адекватності математичної моделі поведінки рідини в камері АБП і верифікацію програмного забезпечення здійснено шляхом зіставлення теоретичних результатів із одержаними експериментально.

### Література

1. SKF – Automatic balancing units (2017). URL: <http://www.skf.com/us/industry-solutions/portable-power-tools/applications/grinders-planners-and-sanders/automatic-balancing-unit/index.html>.
2. Keunjoo Kim, Seungchul Park, Jongryong Kim (2016) Balancing unit and laundry treatment apparatus EP 3085827 A1 / Owner name: Lg Electronics Inc. URL: <http://www.google.com/patents/EP3085827A1?cl=en>.
3. Гусаров А.А. Балансировка роторов машин : в 2 кн. Книга 2 / Гусаров А.А. – Москва : Наука, 2004. – 266 с.
4. Никифоров А.Н. Состояние проблемы уравнивания роторов / А.Н. Никифоров // Вестник научно-технического развития. – 2013. – № 4 (68). – С. 20–28.
5. Нестеренко В.П. Теория и практика устройств автоматической балансировки роторов : автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук : 05.02.18 / Нестеренко В.П. / Новосиб. электротехн. ин-т. – Новосибирск, 1990. – 34 с.
6. Pashkov E., Martyushev N., Ponomarev A. (2014). Efficiency of Balancing by Liquid-Type Automatic Balancing Devices. *Advanced Materials Research: Scientific Journal*. Vol. 1040, pp. 858–863.
7. Pashkov E., Martyushev N., Masson A. (2014). Evaluation of Gravitational Force Effect on Balancing Processes in Liquid-Type Autobalancing Devices. *Advanced Materials Research: Scientific Journal*, Vol. 1040, pp. 642–649.
8. Филимонихин Г.Б. Эмпирический критерий наступления автобалансировки и его применение для осесимметричного ротора с неподвижной точкой и изотропной упругой опорой / Г.Б. Филимонихин, И.И. Филимонихина, К.Н. Думенко, М.В. Личук // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2016. – № 5/7. – С. 11–18.
9. Royzman V., Drach I., Bubulis A. (2016). Movement of working fluid in the field of centrifugal forces and forces of weight. In: Proceedings of the 21st International Scientific Conference: Mechanika; 12, 13 May 2016; Kaunas: pp. 222–224.
10. Urbiola-Soto L, Lopez-Parra M. (2011) Dynamic performance of the Leblanc balancer for automatic washing machines. *J. Vibr. Acoust.* Vol. 133. DOI: 10.1115/1.4003597.
11. Marlon Wesley Machado Cunico. (2015). Characterization and Modelling of LeBlanc Hydrodynamic Stabilizer: A Novel Approach for Steady and Transient State Models. *Modelling and Simulation in Engineering*. Vol. 2015, 11 p.
12. Hoon H. S., L. J. Young, S. Suzuki, H. W. Gu. (2001). A study on the dynamic behaviour of an automatic washing machine. *Nippon Kikai Gakkai Kankyo Kogaku Sogo Shinpojiumu Koen Ronbunshu*. Vol. 11, pp. 131–134.
13. Thearle E.L. (1950). Automatic dynamic balancers (Part 1. Leblanc balancer). *Machine Design*, 22, pp. 119–124.
14. Conrad D.C. (1994). On The Fundamentals of Automatic Washing Machine Design Based Upon Dynamic Constraints, Ph.D. Thesis, Purdue University.
15. Morio M., Yutaka N. (2002). Washing Machine Dehydration Dynamics Analysis. *Nihon Kikai Gakkai Nenji Taikai Koen Ronbunshu*, 5, pp. 209–216.
16. Bae S.; Lee J. M.; Kang Y. J.; Kang J. S.; Yun J. R. (2002). Dynamic analysis of an automatic washing machine with a hydraulic balancer. *J. Sound Vib.*, 257, 3–18. DOI:10.1006/jsvi.2001.4162
17. Jung CH., Kim CS., Choi YH. J., (2008). A dynamic model and numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine. *Journal of Mechanical Science and Technology*. Vol. 22, pp. 1843–1852.
18. Langthjem M. A., Nakamura T., (2013). Dynamics of the fluid balancer: Perturbation solution of a forced Korteweg-de Vries-Burgers equation. RIMS, Kyoto University, V. 1847, pp. 73–85.

19. Bobo Li, Huiqun Yuan, Guangding Wang, (2018) An analytical investigation on the dynamic stability of a rotor filled with liquid. *Journal of Vibroengineering*, Vol. 0(6), pp. 2253–2267. DOI: 10.21595/jve.2018.19886.
20. Royzman V., Bubulis A., Drach I. (2009). System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies. *Solid State Phenomena*. Vol. 147–149, pp. 374–379.

#### References

1. SKF – Automatic balancing units (2017). URL: <http://www.skf.com/us/industry-solutions/portable-power-tools/applications/grinders-planners-and-sanders/automatic-balancing-unit/index.html>.
2. Keunjo Kim, Seungchul Park, Jongryong Kim (2016) Balancing unit and laundry treatment apparatus EP 3085827 A1 / Owner name: Lg Electronics Inc. URL: <http://www.google.com/patents/EP3085827A1?cl=en>.
3. Gusarov A.A. Balansirovka rotorov mashin : v 2 kn. Kniga 2 / Gusarov A.A. – Moskva : Nauka, 2004. – 266 s.
4. Nikiforov A.N. Sostoyanie problemy uravnoveshivaniya rotorov / A.N. Nikiforov // Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitiya. – 2013. – № 4 (68). – S. 20–28.
5. Nesterenko V.P. Teoriya i praktika ustrojstv avtomaticheskoy balansirovki rotorov : avtoref. diss. na soiskanie nauch. stepeni d-ra tehn.nauk : 05.02.18 / Nesterenko V.P. / Novosib. elektrotehn. in-t. – Novosibirsk, 1990. – 34 s.
6. Pashkov E., Martyshev N., Ponomarev A. (2014). Efficiency of Balancing by Liquid-Type Automatic Balancing Devices. *Advanced Materials Research: Scientific Journal*. Vol. 1040, pp. 858–863.
7. Pashkov E., Martyshev N., Masson A. (2014). Evaluation of Gravitational Force Effect on Balancing Processes in Liquid-Type Autobalancing Devices. *Advanced Materials Research: Scientific Journal*, Vol. 1040, pp. 642–649.
8. Filimonihin G.B. Empiricheskij kriterij nastupleniya avtobalansirovki i ego primenenie dlya osesimmetrichnogo rotora s nepodvizhnoj tochkoj i izotropnoj uprugoj oporoj / G.B. Filimonihin, I.I. Filimonihina, K.N.Dumenko, M.V. Lichuk // Vost.-Evrop. zhurn. peredovyh tehnologij. – 2016. – № 5/7. – S. 11–18.
9. Royzman V., Drach I., Bubulis A. (2016). Movement of working fluid in the field of centrifugal forces and forces of weight. In: *Proceedings of the 21st International Scientific Conference: Mechanika*; 12, 13 May 2016; Kaunas: pp. 222–224.
10. Urbiola-Soto L., Lopez-Parra M. (2011) Dynamic performance of the Leblanc balancer for automatic washing machines. *J. Vibr. Acoust.* Vol. 133. DOI: 10.1115/1.4003597.
11. Marlon Wesley Machado Cunico. (2015). Characterization and Modelling of LeBlanc Hydrodynamic Stabilizer: A Novel Approach for Steady and Transient State Models. *Modelling and Simulation in Engineering*. Vol. 2015, 11 p.
12. Hoon H. S., L. J. Young, S. Suzuki, H. W. Gu. (2001). A study on the dynamic behaviour of an automatic washing machine. *Nippon Kikai Gakkai Kankyo Kogaku Sogo Shinpojiumu Koen Ronbunshu*. Vol. 11, pp. 131–134.
13. Thearle E.L. (1950). Automatic dynamic balancers (Part 1. Leblanc balancer). *Machine Design*, 22, pp. 119–124.
14. Conrad D.C. (1994). On The Fundamentals of Automatic Washing Machine Design Based Upon Dynamic Constraints, Ph.D. Thesis, Purdue University.
15. Morio M., Yutaka N. (2002). Washing Machine Dehydration Dynamics Analysis. *Nihon Kikai Gakkai Nenji Taikai Koen Ronbunshu*, 5, pp. 209–216.
16. Bae S.; Lee J. M.; Kang Y. J.; Kang J. S.; Yun J. R. (2002). Dynamic analysis of an automatic washing machine with a hydraulic balancer. *J. Sound Vib.*, 257, 3–18. DOI:10.1006/jsvi.2001.4162
17. Jung CH., Kim CS., Choi YH. J., (2008). A dynamic model and numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine. *Journal of Mechanical Science and Technology*. Vol. 22, pp. 1843–1852.
18. Langthjem M. A., Nakamura T., (2013). Dynamics of the fluid balancer: Perturbation solution of a forced Korteweg-de Vries-Burgers equation. *RIMS, Kyoto University*, V. 1847, pp. 73–85.
19. Bobo Li, Huiqun Yuan, Guangding Wang, (2018) An analytical investigation on the dynamic stability of a rotor filled with liquid. *Journal of Vibroengineering*, Vol. 0(6), pp. 2253–2267. DOI: 10.21595/jve.2018.19886.
20. Royzman V., Bubulis A., Drach I. (2009). System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies. *Solid State Phenomena*. Vol. 147–149, pp. 374–379.

Рецензія/Peer review : 08.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 02.11.2020 р.

М.Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

І.В. ПАНАСЮК

Київський національний університет технологій та дизайну

## СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО СЕМИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Високопродуктивне виконання галтувальних технологічних операцій обробки дрібних металевих та полімерних деталей здійснюється із використанням машин, у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух. За допомогою САПР SolidWorks 2016 виконано 3D моделювання та подальше силове дослідження просторового семиланкового механізму машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом. У ході виконання силового дослідження визначено реакції в усіх обертальних кінематичних парах, досліджено вплив зміни міжосьової відстані робочої ємкості на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

Ключові слова: силове дослідження, надлишковий (пасивний) зв'язок, просторовий механізм, робоча ємкість, коромисло.

M.G. ZALYUBOVSKIY

Open International University of Human Development "Ukraine"

I.V. PANASYUK

Kyiv National University of Technology and Design

## POWER INVESTIGATION OF THE SPATIAL SEMILINK MECHANISM OF THE MACHINE FOR PROCESSING OF DETAILS

To perform tumbling technological operations for the processing of small metal and polymer parts (grinding and polishing small parts with abrasive in the form of loose granules, separating parts from sprues, cleaning metal parts from corrosion products, rounding off sharp edges, and so on), equipment with containers is used. perform a different nature of the movement. The most efficient type of equipment providing high-performance processing of parts are machines with complex spatial movement of working containers. With the help of the SolidWorks 2016 Motion computer-aided design system, 3D modeling and further force study of the spatial seven-link mechanism of the machine with an elongated working capacity, in which the driven shaft is kinematically connected to an additional movable link - the rocker arm. The essence of force research consists in determining and comparing the magnitude of the maximum values of the reactions in all rotational kinematic pairs of the machine, while each reaction was divided into radial and axial components, the influence of the change of the axial distance of the working capacity on the maximum values of reactions in the kinematic pairs of the machine was investigated. On the basis of the conducted power study of the spatial mechanism of the machine, it was found that the change in reactions in each kinematic pair has an individual peculiarity and different extreme values. The radial components of the reactions have the maximum values, and the axial components of the reactions have the minimum values. Cyclic change of reactions in all kinematic pairs has two periods for one complete revolution of the machine drive shaft. The obtained research results can serve as a basis for further research, including the performance of further comparative force research of other, developed by the authors, designs of tumbling machines without redundant communication.

Key words: force research, redundant (passive) communication, spatial mechanism, working capacity, rocker arm.

**Постановка задачі.** У 1966 році швейцарською фірмою Willy A. Bachofen (WAB) [1] було розроблено змішувач [2, с. 145] для сипких дрібнодисперсних речовин, що є «базовою» конструкцією машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Згодом, авторами було доведено, що «базову» конструкцію машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості можна успішно використовувати для виконання галтувальних технологічних операцій обробки металевих та полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул [3], відділення деталей від ливників [4], подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії тощо). Також доведено [5], що використання цієї машини для виконання згаданих технологічних операцій дозволяє значно інтенсифікувати процес обробки, підвищити продуктивність виготовлення деталей з одночасним зменшенням енерговитрат. Однак, «базова» конструкція машини, в основі якої використовується просторовий шестиланковий механізм, має суттєвий недолік – наявність пасивного (надлишкового) зв'язку [2, с. 5], який негативно впливає на експлуатаційні властивості машини, може призвести до передчасного її виходу з ладу. Авторами було розроблено інші, аналогічні за принципом роботи машини зі складним рухом робочих ємкостей, без надлишкового зв'язку. Однією з таких конструкцій є машина [6], в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, в основі якої використовується семиланковий просторовий механізм. У розробленій конструкції машини, за рахунок введення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки, також виникає можливість змінювати міжосьову відстань робочої ємкості, тобто, її довжину. Таким чином, важливо виконати силове дослідження розробленої конструкції машини, зокрема, дослідити, як зміна міжосьової відстані робочої ємкості, впливає на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини, при якій міжосьовій відстані робочої ємкості реакції в кінематичних парах машини будуть перевищувати максимальні значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини. Суть силового дослідження полягає у визначенні величини реакцій у всіх обертальних кінематичних парах машини, яке виконувалося на основі моделювання даної конструкції машини та подальшого силового дослідження у САПР SolidWorks.

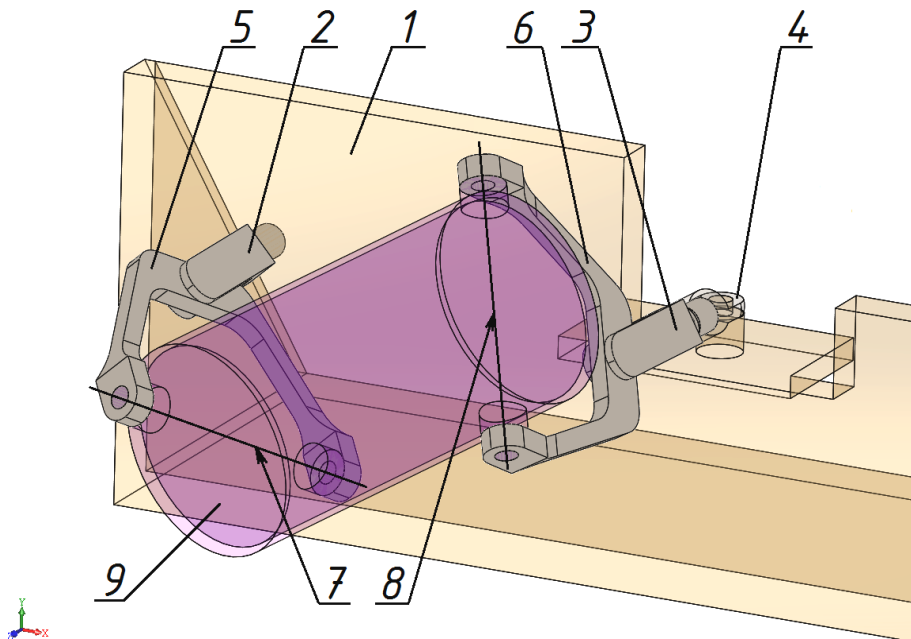
**Аналіз досліджень та публікацій.** В цілому відомі багаточисленні роботи, які засвідчують успішність використання даного типу обладнання, як для реалізації процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин [7, 8], так і для реалізації різних типів галтувальних технологічних операцій [9]. Зокрема, з використанням однієї з розроблених авторами конструкцій машин зі складним рухом робочої ємкості [10] для реалізації технологічного процесу відділення металевих деталей від ливників вдалося майже в 10 разів скоротити час виконання даної технологічної операції [11, с. 34]. Відоме [12] успішне використання даної машини і для шліфування поверхні полімерних деталей.

Однією з основних задач, що ставляться при проектуванні даного типу галтувального обладнання є створення статично визначених механізмів без надлишкового (пасивного) зв'язку. Відомо [13, 14], що при дотриманні такої умови навантаження в ланках та кінематичних парах механізму будуть визначатися лише силовою технологічною та динамічною взаємодією. Цикл досліджень [5] по вдосконаленню конструкцій просторових механізмів машин зі складним рухом робочих ємкостей, був проведений авторами в Київському національному університеті технологій та дизайну. Таким чином, були розроблені різні конструкції машин без надлишкового пасивного зв'язку, однією з яких є досліджувана конструкція [6] в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, в основі якої використовується семиланковий просторовий механізм.

**Виділення невирішених частин.** Однак, на сьогодні відсутня інформація щодо виконання силового дослідження розробленої машини, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом. Залишається недослідженим питання впливу зміни міжосьової відстані робочої ємкості, на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

**Формулювання цілей.** Метою роботи є визначення та аналіз реакцій в усіх обертових кінематичних парах просторового семиланкового механізму машини без надлишкового зв'язку за допомогою САПР SolidWorks, дослідження впливу зміни міжосьової відстані робочої ємкості, на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

**Виклад основного матеріалу.** Розроблена конструкція машини, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, що представлена на рис. 1, містить станину 1, ведучий 2 та ведений 3 вали, при чому, ведучий вал 2 встановлений в підшипниковій опорі станини 1, а ведений вал 3 з можливістю обертання кінематично з'єднаний з коромислом 4, яке рухомо встановлено в станині 1 та може виконувати коливальний рух у горизонтальній площині відносно вертикальної вісі. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою 5 та веденою 6 вилками відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі яких 7 і 8 є вісями кріплення робочої ємкості 9. При моделюванні описаної конструкції машини у САПР SolidWorks основні геометричні та конструктивні параметри приймали аналогічними до параметрів промислового змішувача «Turbula T10B» («базова» конструкція машини). Відповідні геометричні та конструктивні параметри розробленої машини представлені у таблиці 1.



**Рис. 1. Модель конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом**

У цій конструкції машини, за рахунок введення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки – коромисла, виключено надлишковий (пасивний) зв'язок, який негативно впливає на експлуатаційні властивості машини. В результаті чого стало можливим варіювати міжосьовою відстанню робочої ємкості  $l_{PC}$ . Таким чином, важливо дослідити, як зміна даного геометричного параметру впливає на зміну максимальних значень реакцій в кінематичних парах машини, при якій міжосьовій відстані робочої ємкості  $l_{PC}$  реакції в



кінематичних парах машини будуть перевищувати попередньо визначені [5] максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини. Силове дослідження виконували за допомогою САПР SolidWorks (додаток Motion). Міжосьову відстань робочої ємкості  $l_{PC}$  поступово збільшували та спостерігали за зміною реакцій в кінематичних парах машини, для кожної реакції визначали її екстремальні значення. При цьому, міжосьова відстань робочої ємкості  $l_{PC}$  була виражена коефіцієнтом  $\delta$ , що запропонований у роботі [15, с. 8] та характеризує відношення міжосьової відстані робочої ємкості до міжосьової відстані ведучої (веденої) вилки машини:  $l_{PC} / l_B$ . Дослідження були проведені для конструкції машин з наступними значеннями коефіцієнту  $\delta$ : 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

Визначали «граничну» міжосьову відстань робочої ємкості, подальше видовження якої призведе до значного збільшення реакцій в кінематичних парах машини, що будуть перевищувати значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом представлено на рис. 2.

Таблиця 1

Геометричний параметр машини	Значення коефіцієнта $\delta$				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Діаметр робочої ємкості $d_{PC}$	0,318 м	0,318 м	0,318 м	0,318 м	0,318 м
Довжина (між торцями) робочої ємкості $l_{Ц}$	0,430 м	0,480 м	0,535 м	0,590 м	0,640 м
Міжосьова відстань вилки $l_B$	0,272 м	0,272 м	0,272 м	0,272 м	0,272 м
Міжосьова відстань робочої ємкості $l_{PC}$	0,330 м	0,380 м	0,435 м	0,490 м	0,540 м
Об'єм робочої ємкості $V_{PC}$	0,032 м <sup>3</sup>	0,036 м <sup>3</sup>	0,041 м <sup>3</sup>	0,045 м <sup>3</sup>	0,050 м <sup>3</sup>
Маса усіх рухомих деталей машини $m_D$	50 кг	52 кг	53,2 кг	54,5 кг	55,6 кг
Кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{ведч.}$	3,3 с <sup>-1</sup> (32 об/хв)	3,3 с <sup>-1</sup> (32 об/хв)	3,3 с <sup>-1</sup> (32 об/хв)	3,3 с <sup>-1</sup> (32 об/хв)	3,3 с <sup>-1</sup> (32 об/хв)

Оскільки попередні результати силового дослідження «базової» конструкції машини показали [5], що усі значення реакцій в кінематичних парах машини, при її роботі на робочому ході, були пропорційно збільшені на одну й ту ж саму величину від значень реакцій в кінематичних парах машини при роботі її на холостому ході, то подальші порівняльні дослідження інших розроблених конструкцій машин слід проводити при роботі машини на холостому ході.

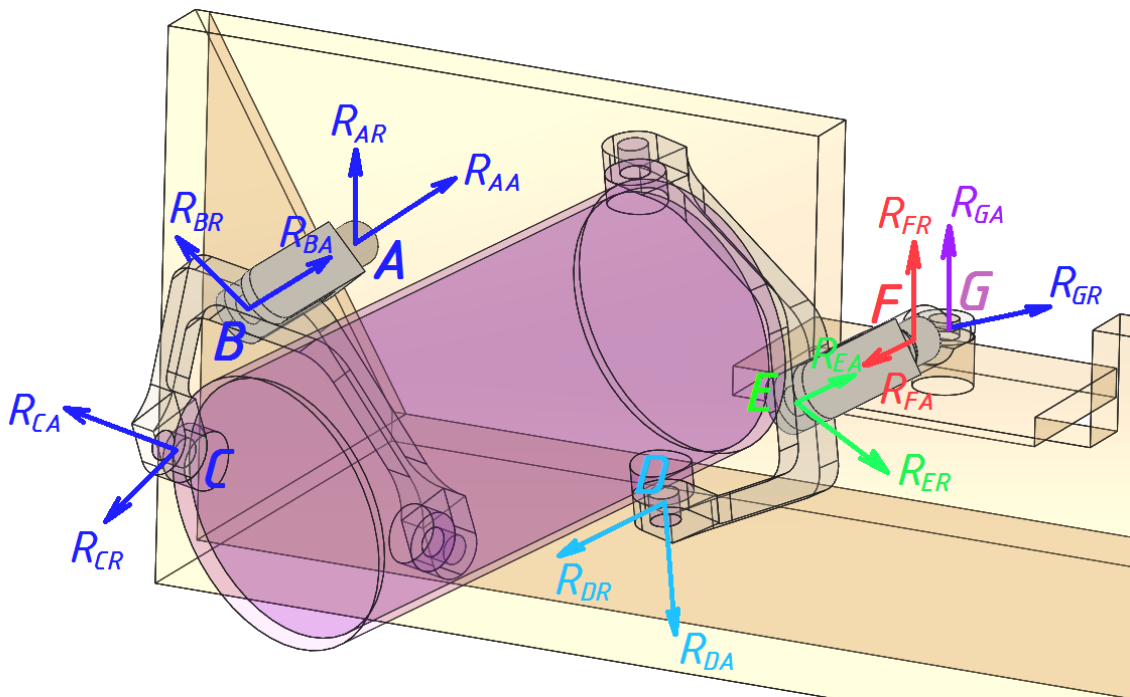


Рис. 2. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом

Визначали максимальні значення реакцій  $R$  в семи обертальних кінематичних парах машини:  $A, B, C, D, E, F, G$ . Значення усіх реакцій були розподілені на дві складові: радіальну та осьову:  $R_{AA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «станина – ведучий вал»;  $R_{AR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «станина – ведучий вал»;  $R_{BA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведучий вал – ведуча вилка»;  $R_{BR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведучий вал – ведуча вилка»;  $R_{CA}$  –

осьова складова реакції в кінематичній парі «ведуча вилка – робоча ємкість»;  $R_{CR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведуча вилка – робоча ємкість»;  $R_{DA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «робоча ємкість – ведена вилка»;  $R_{DR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «робоча ємкість – ведена вилка»;  $R_{EA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведена вилка – ведений вал»;  $R_{ER}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведена вилка – ведений вал»;  $R_{FA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – коромисло»;  $R_{FR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – коромисло»;  $R_{GA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «коромисло – станина»;  $R_{GR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «коромисло – станина».

В таблиці 2 представлено визначені за допомогою САПР SolidWorks максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини в залежності від зміни коефіцієнту  $\delta$ , а також значення реакцій у відповідних кінематичних парах просторового механізму базової конструкції машини, що відповідає коефіцієнту  $\delta=1$ .

Таблиця 2

Показник	Коефіцієнт $\delta$ , що характеризує відношення $l_{PC}/l_B$					
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$R_{AA}$ , [Н]	88	61	40	34	77	160
$R_{FA}$ , [Н]	68	50	40	38	77	122
$R_{AR}$ , [Н]	405	244	205	205	300	310
$R_{FR}$ , [Н]	608	123	110	199	242	569
$R_{BA}$ , [Н]	198	69	80	100	119	152
$R_{EA}$ , [Н]	124	26	25	55	98	138
$R_{BR}$ , [Н]	294	257	215	196	238	241
$R_{ER}$ , [Н]	545	118	87	165	170	508
$R_{CA}$ , [Н]	95	28	19	25	70	131
$R_{DA}$ , [Н]	194	40	21	17	19	20
$R_{CR}$ , [Н]	325	145	122	170	340	598
$R_{DR}$ , [Н]	342	75	90	168	252	500
$R_{GA}$ , [Н]	----	118	98	178	275	490
$R_{GR}$ , [Н]	----	80	70	105	146	328

На основі представлених у таблиці 2 результатів досліджень було побудовано, у вигляді графіків, залежності максимальних значень реакцій в кінематичних парах досліджуваного просторового механізму від зміни коефіцієнту  $\delta$ , які представлені на рис. 3 (радіальні складові реакції) та рис. 4 (осьові складові реакції).

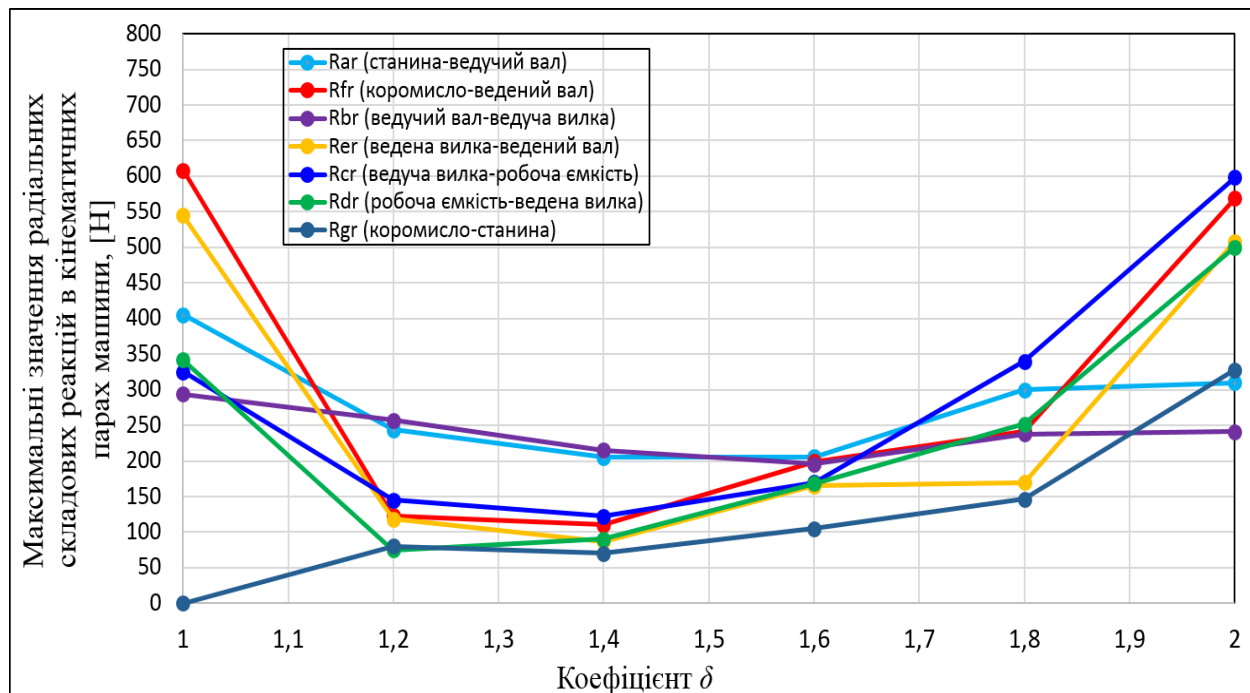


Рис. 3. Залежність максимальних значень радіальних складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом від зміни коефіцієнта  $\delta$

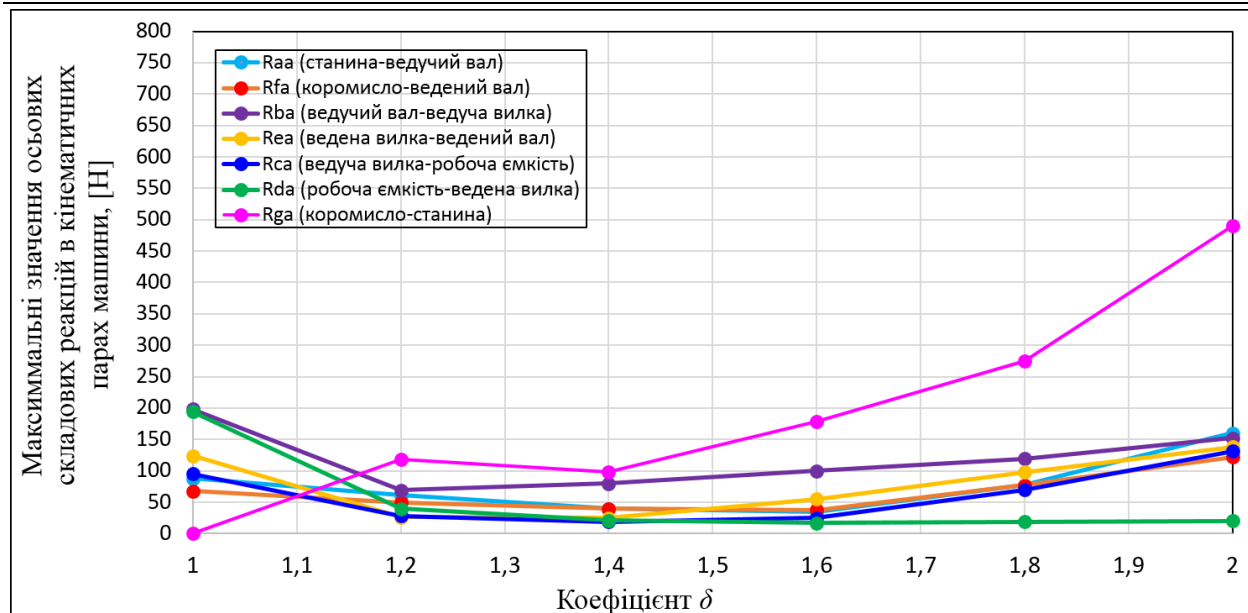


Рис. 4. Залежність максимальних значень осьових складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом від зміни коефіцієнту  $\delta$

На основі аналізу залежностей, які представлені на рис. 3 та рис. 4, а також порівняння даних, представлених у таблиці 2, можна стверджувати наступне: більш раціональним є використання розробленої конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом ніж «базової» конструкції машини у зв'язку з тим, що в діапазоні зміни коефіцієнту  $\delta=[1,2-1,6]$  максимальні значення реакцій в кінематичних парах досліджуваної машини будуть значно менші за максимальні значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини.

Зі збільшенням величини коефіцієнту  $\delta$  збільшувалися й максимальні значення реакцій у кінематичних парах. Однак, характер зміни осьових та радіальних складових максимальних значень реакцій в кінематичних парах мав відмінності. Максимальні значення осьових складових реакцій майже не змінювалися при збільшенні міжосьової відстані робочої ємкості  $l_{PC}$  та коефіцієнту  $\delta$ , в той час, як радіальні максимальні значення радіальних складових реакцій, при коефіцієнті  $\delta=1,2$  різко зменшилися, в діапазоні зміни коефіцієнту  $\delta=[1,2-1,8]$  залишалися майже незмінними, після чого відбулося їх різке збільшення вже при коефіцієнті  $\delta=2,0$ .

У досліджуваній конструкції машини при коефіцієнті  $\delta=2,0$  спостерігалось вже значне збільшення максимальних значень деяких реакцій в порівнянні з максимальними значеннями реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини. Таким чином, максимальні значення реакцій  $R_{AA}$ ,  $R_{FA}$ ,  $R_{CR}$ ,  $R_{DR}$  стали більшим майже в два рази. Максимальні значення реакцій  $R_{GA}$  та  $R_{GR}$  збільшилися в більш ніж чотири рази (в порівнянні з конструкцією машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, при коефіцієнті  $\delta=1,2$ ). Максимальні значення реакцій  $R_{EA}$  та  $R_{CA}$  перевищили аналогічні максимальні значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини на незначну величину.

## Висновки

1. Виконано силове дослідження просторового семиланкового механізму машини для обробки деталей з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом за допомогою САПР SolidWorks, зокрема, визначено реакції в усіх обертових кінематичних парах.

2. Досліджено вплив зміни коефіцієнту  $\delta$ , який характеризує відношення міжосьової відстані робочої ємкості до міжосьової відстані ведучої (веденої) вилки машини на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

3. Встановлено, що конструкцію машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом раціонально використовувати в діапазоні зміни коефіцієнту  $\delta=[1,2-2,0]$ . У досліджуваній конструкції машини при коефіцієнті  $\delta=2,0$  спостерігалось вже значне збільшення максимальних значень деяких реакцій в порівнянні з максимальними значеннями реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини.

## Література

1. Willy A. Bachofen (WAB) AG, Maschinenfabrik. 2019. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (date of acces: 14.09.2020).

2. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов / Решетов Л.Н. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 256 с.
3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, O.O. Kuznetsova, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
4. Залюбовський М.Г. Аналітичне визначення часу виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – № 6 (140). – С. 9–18.
5. 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.
6. Патент №143097, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. ; заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна». – № u202000655 ; заяв. 04.02.2020 ; опуб. 10.07.2020, бюл. № 13.
7. M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt. A numerical comparison of mixing efficiencies of solids in a cylindrical vessel subject to a range of motions, Powder Technology, Powder Technology 217 (2012), pp. 540–547.
8. M. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012.
9. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / під заг. ред. В.П. Коновала. – Хмельницький, 2007. – 255 с.
10. Патент №89571, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Панасюк І.В., Залюбовський М.Г. ; заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201313728 ; заяв. 26.11.2013 ; опуб. 25.04.2014, бюл. № 8.
11. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – № 1 (142). – С. 27–38.
12. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, Y.V. Klaptsov, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
13. Antonyuk E.Ya. Dynamic system of an engine with spatially rocking links: a mathematical model / E.Ya. Antonyuk, V.A. Sakhamov, N.I. Koval // International Applied Mechanics. – 201046. – No. 9. – P. 1039–1049.
14. Antonyuk E. Ya. Motion of an articulated vehicle with two-dimensional sections subject to lateral obstacles / E.Ya. Antonyuk, A.T. Zabuga // International Applied Mechanics. – 2016. – 52, No 4. – P. 404–412.
15. Залюбовський М.Г. Вдосконалення машин зі складним рухом робочих ємкостей для обробки деталей легкої промисловості : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня к-та техн. наук : 05.05.10 – машини легкої промисловості / Залюбовський М.Г. / Київський національний університет технологій та дизайну. – К. : КНУТД, 2017. – 24 с.

#### References

1. Willy A. Bachofen (WAB) AG, Maschinenfabrik. 2019. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (date of acces: 14.09.2020).
2. Reshetov L.N. Konstruyovanye ratsyonalnykh mekhanyzmov / Reshetov L.N. – Yzd. 2-e, pererabot. y dop. – М. : Mashynostroenye, 1972. – 256 s.
3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, O.O. Kuznetsova, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
4. Zaliubovskiy M.H. Analitichne vyznachennia chasu vykonannia tekhnolohichnoi operatsii viddilennia metalevykh detalei zamka «blyskavka» vid lynykyiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho univertsytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2019. – № 6 (140). – S. 9–18.
5. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei : monohrafiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev. – К. : Universtet «Ukraina», 2018. – 228 s.
6. Patent №143097, МПК V01F 11/00. Mashyna dlia obrobky detalei / Zaliubovskiy M.H., Panasiuk I.V., Malyshev V.V. ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Vyshchyi navchalnyi zaklad «Vidkrytyi mizhnarodnyi univertsytet rozvytku liudyny «Ukraina». – № u202000655 ; zaiav. 04.02.2020 ; opub. 10.07.2020, biul. № 13.
7. M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt. A numerical comparison of mixing efficiencies of solids in a cylindrical vessel subject to a range of motions, Powder Technology, Powder Technology 217 (2012), pp. 540–547.
8. M. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012.
9. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttyevii ta shkirhalantereinii promyslovosti : monohrafiia / pid zah. red. V.P. Konovala. – Khmelnytskyi : KhNU, 2007. – 255 s.
10. Patent №89571, МПК B01F 11/00. Mashyna dlia obrobky detalei / Panasiuk I.V., Zaliubovskiy M.H. ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy natsionalnyi univertsytet tekhnolohii ta dyzainu. – № u201313728 ; zaiav. 26.11.2013 ; opub. 25.04.2014, biul. № 8.
11. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta obiemu zapovnennia yemkosti na intensyvni viddilennia metalevykh detalei vid lynykyiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho univertsytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – № 1 (142). – S. 27–38.

- 
12. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, Y.V. Klaptsov, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
13. Antonyuk E.Ya. Dynamic system of an engine with spatially rocking links: a mathematical model / E.Ya. Antonyuk, V.A. Sakhamov, N.I. Koval // International Applied Mechanics. – 201046. – No. 9. – P. 1039–1049.
14. Antonyuk E. Ya. Motion of an articulated vehicle with two-dimensional sections subject to lateral obstacles / E.Ya. Antonyuk, A.T. Zabuga // International Applied Mechanics. – 2016. – 52, No 4. – P. 404–412.
15. Zaliubovskiy M.H. Vdoskonalennia mashyn zi skladnym rukhom robochych yemkosti dlia obrobky detalei lehkoj promyslovosti : avtoref. dys. na zdobuttia vchenoho stupenia k-ta tekhn. nauk : 05.05.10 – mashyny lehkoj promyslovosti / Zaliubovskiy M.H. / Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu. – K. : KNUVD, 2017. – 24 s.

Рецензія/Peer review :08.09.2020 р.

Надрукована/Printed :02.11.2020 р.

## INSTALLATION DEVICE FOR FLAT COMPONENT PARTS

*When carrying out inside diameter tooling, component parts are fastened directly on the table using simple adjusting clamping straps and anvils that leads to significant reduce of labour productivity and working accuracy. Design of machine-tool device, providing a possibility of readjustment of device elements for installation of flat component parts and plates in certain range of dimensions, provides carrying out of mechanical processing in minimal quantity of placings owing to increasing of tool availability and provision of multiple-axis machining. For determination of the possibility to achieve size, shape precision and geometric relationship of "Cover" component part when carrying out surface mechanical processing on machine accessory, the examination of strain-stress state of "Cover" component part was also realized using SOLIDWORKS Simulation software. Experimental results of strain-stress state have shown that movement and stress values, originating during machining process, in offered machine accessory is insignificant, for example, deformations are not greater than 0.3 micron. Device case is the most critical part of the construction that bears all loads, imposed from clamp assembly unit and all cutting forces during processing. Working accuracy and reliability of force clamp depend on structural robustness, stiffness and stability of the case. Installation device can be set both on machines table and on mounting plates, included into different kits of assembly machine-tool devices Thus, manufacturing method is shortened by several operations. Designed construction of the device for component parts processing provides multicoordinate processing and meets the requirements of structural robustness, and also significantly reduces expenses of additional and setting-up time.*

*Keywords: dimensional analysis, positioning, machine accessory, strain-stress state, installation device, flat component parts.*

В.Д. КАРАЗЕЙ, К.С. СОКОЛАН  
Хмельницький національний університет

## УСТАНОВЧИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПЛАСКИХ ДЕТАЛЕЙ

*Під час обробки отворів деталі кріпляться безпосередньо на столі верстата за допомогою простих установочних прихватів та упорів, що значно знижує продуктивність праці і точність обробки. Розробка верстатного пристрою, який забезпечує можливість переналадження елементів пристрою для встановлення плоских деталей типу плоских кришок та плит у певному діапазоні розмірів дає можливість виконувати механічне оброблення за мінімальну кількість установок за рахунок підвищення інструментальної доступності та забезпечення багатокординатного оброблення. Для визначення можливості досягнення точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь деталі «Кришка» при проведенні механічного оброблення поверхонь з використанням верстатного пристрою також виконано дослідження напружено-деформованого стану деталі «Кришка» за допомогою програми SOLIDWORKS Simulation. Величини переміщень і напружень, які виникають у процесі механічного оброблення, у запропонованому верстатному пристрої є незначними, наприклад, деформації не перевищують 0,3 мкм. Корпус пристрою є найбільш відповідальною частиною конструкції, що сприймає всі навантаження, які прикладаються від елементів вузла затиску та також всі зусилля різання при обробленні. Від міцності, жорсткості та стійкості корпусу залежить точність оброблення та надійність затискання деталі. Запропонована конструкція пристрою призначена для встановлення та закріплення прямокутних плит та кришок, що здійснюється за допомогою прихватів. Установочний пристрій може бути встановлений як на столі верстата, так і на базових плитах, що входять до різних комплектів збірних верстатних пристроїв. Таким чином, технологічний процес скорочується на декілька операцій. Розроблена конструкція пристрою дозволяє виконувати оброблення деталей типу плит та кришок при одному закріпленні; відповідає умовам міцності, а також значно скорочує витрати допоміжного та підготовчо-заключного часу.*

*Ключові слова: розмірний аналіз, розміщення, верстатні пристрої, напружено-деформований стан, установочний прилад, плоскі деталі.*

### Introduction

Big amount of flat and different thin component parts, such as covers, planes, knee bends, backing blocks, etc., are used on Krasyliv engineering plant (Krasylivskiy agregatnyi zavod) in product design.

Main operations of manufacturing method during fabrication of component parts are inside diameter tooling: drilling, hole enlarging, thread forming, reaming.

When carrying out inside diameter tooling, component parts are fastened directly on the table using simple adjusting clamping straps and anvils that leads to significant reduce of labour productivity and working accuracy.

The goal of this article is design of machine-tool device, providing a possibility of readjustment of device elements for installation of flat component parts and plates in certain range of dimensions, provides carrying out of mechanical processing in minimal quantity of placing owing to increasing of tool availability and provision of multiple-axis machining. The objective lies in increasing of working accuracy of component parts and in improvement of installation device for components setting. The construction of machine-tool device, providing realization of part processing of such component parts as plates and covers under conditions of one fastening, and also shortening time consumptions for readjustment, is proposed in this article.

### Background

Selection of component part locating chart depends on geometric shape and design features of pieces (existence of flat surfaces, throats, apertures, etc.), size precision, form accuracy and three-dimensional positioning of surfaces relatively to each other, quality, surface roughness and toughness.

Different device locating charts on NC machines were analyzed, and on the grounds of this analysis, locating chart along three axes was chosen (in coordinate angle). Herewith intermediate product losses all 6 degrees of freedom. Ground plane, processed to-a-finish, acts as main base, lateral service acts as guiding base and end surface acts as resting base. Such locating chart is the simplest, the most reliable and accurate.

Inasmuch as inside diameter tooling operation is finishing when manufacturing given component part, its positioning on supports is carried out via processes bottom surface, which is main base.

Main quality parameters of inside diameter tooling are the accuracy and reliability. Accuracy of machine-tool device determined realization of indicated size precision parameters, departure from normal and location, distortion and undulation of processed surfaces of intermediate product.

### Objective

Accuracy calculation of machine-tool devices is carried out on the basis of the theory of dimensional sequences. The last link of dimensional sequence is a requirement to size precision, geometric relationship or geometric form of processed component part.

We carry out dimensional analysis of component part when basing it in coordinate angle foremost for purpose of reaching processing accuracy of the distance between axes [1].

Chart of dimensional chains of "Cover" component part is indicated on fig. 1.

Main process tasks for this component part is receiving accurate via openings and distance between axes. In given component part the largest requirements are laid down to following surfaces:

- 1) Cylindrical surface  $\varnothing 20H7^{(+0,021)}$ .
- 2) Cylindrical surface  $\varnothing 10H7^{(+0,015)}$ .
- 3) Distance between axes of openings  $\varnothing 10H7$  and  $\varnothing 20H7$   $30,0 \pm 0,025$  mm (IT7).

Hereafter the row A will be under examination. Number of links in A row is not greater than 4, that is why the calculation will be done according to the method of complete interchangeability [2].

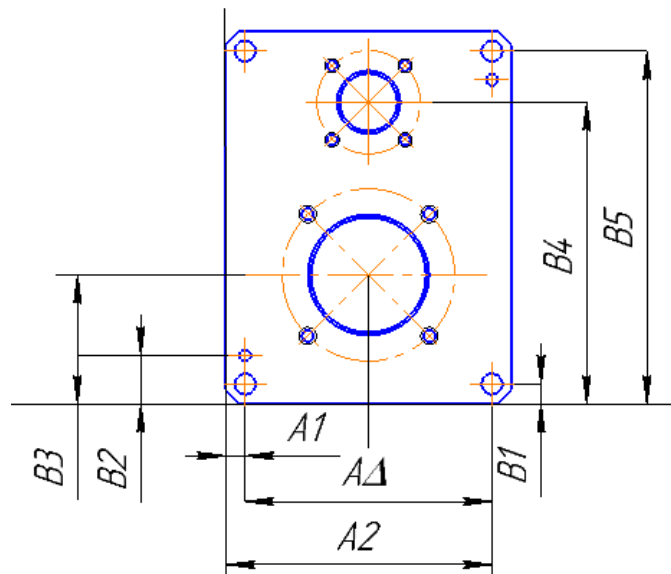


Fig. 1. Dimensional chains of "Cover" component part

$$\text{Nominal value of master link is } A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n A_{3B} - \sum_{j=1}^m A_{3M}$$

$$\text{Clearance of master link is } TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n TA_1 + \sum_{j=1}^m TA_2$$

Upper and lower deviation of master link is calculated by following formulas:

$$ESA_{\Delta} = ES \sum_{i=1}^n A_{30} - EI \sum_{j=1}^m A_{3M} ; \quad EIA_{\Delta} = EI \sum_{i=1}^n A_{30} - ES \sum_{j=1}^m A_{3M} ;$$

$$A_1 = 3,5_{-0,12} \text{ mm}, \quad A_{\Delta} = 43 \pm 0,125 \text{ mm},$$

$$1. \quad A_2 = A_1 + A_{\Delta} = 3,5 + 43 = 46,5 \text{ (mm)}$$

2.  $TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2$ ; from whence  $TA_2 = TA_{\Delta} - TA_1 = 0,25 - 0,12 = 0,13$  mm – corresponds to 10 accuracy degree for the dimension  $A_2 = 46,5$  mm.

$$3. \quad ESA_{\Delta} = ESA_2 - EIA_1, \quad ESA_2 = ESA_{\Delta} + ESA_1 = 0,125 + (-0,12) = 0,005 \text{ (mm)};$$

$$4. \quad EIA_{\Delta} = EIA_2 - ESA_1 ; \quad EIA_2 = EIA_{\Delta} + ESA_1 = -0,125 + 0 = -0,125 \text{ (mm)}.$$

$$5. \quad A_2 = 46,5_{-0,125}^{+0,005} \text{ (mm)}.$$

6. In a similar manner the calculation of all other links will be done.

Analysis of dimensional chains calculation shows that all unknown technological dimensions, which have to be carried out when locating component part in the device (in coordinate angle), lie within the limits of tolerance range from 7<sup>th</sup> to 13<sup>th</sup> accuracy degree, and this value is admissible and doesn't perplex manufacturing method of processing.

For determination of the possibility to achieve size, shape precision and geometric relationship of "Cover" component part when carrying out surface mechanical processing on machine accessory, the examination of strain-stress state of "Cover" component part was also realized using SOLIDWORKS Simulation software.

The model of component part was approximated by regular grid, consisting of triangle prismatic finite elements. Component part material is structural steel 45, ГОСТ 1055–80, elastic modulus is  $2 \times 10^{11}$  Pa, Poisson's ratios is 0.32.

Information about the grid for the component part is indicated in table 1.

Table 1

Information about the grid for component part

Type of grid	Grid on solid body
Used spacing	Standard grid
Automatic grid seal	Off
Jacobian points	4 points
Size of the element	2,9447 mm
Tolerance	0,147235 mm
Total number of units	14596
Total number of elements	8456
Maximal interrelation of sides	2,5999

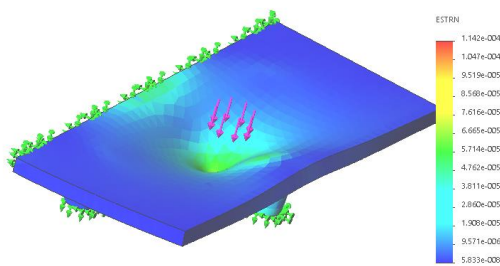


Fig. 2. Component part relocation under the effect of 1000 N cutting force

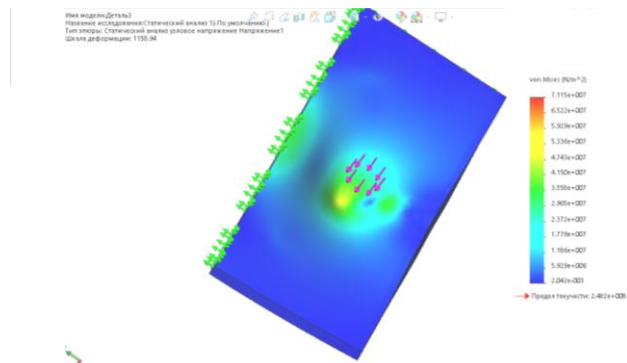


Fig. 3. Stresses in component part under 1000 N cutting force

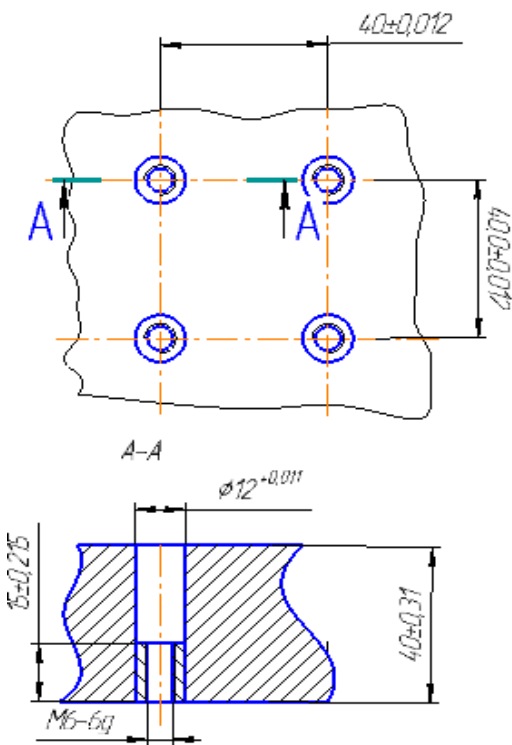


Fig. 4. Segment of installation plate

Relocations and stress, originating in component parts under conditions of different stresses on supporting surface during processing are determined, and elements of the system relocations under the action of cutting force are determined. Cutting force values, effecting on the component part are the following: maximal tension of component part drilling is  $P_o = 1000$  N, minimal tension of component part drilling is  $P_o = 400$  N.

Device case is the most critical part of the construction that bears all loads, imposed from clamp assembly unit and all cutting forces during processing. Working accuracy and reliability of force clamp depend on structural robustness, stiffness and stability of the case.

Device for flat component parts fastening consists of bearer –coordinate plate with dimensions of  $400 \times 250 \times 40$  mm.

Accurate via openings with diameter of 12 mm ( $\text{Ø}12\text{H}6$ ) are made in the plate and they create grid of openings at 40 mm intervals. Thread bushings are pressed into the openings on depth of 15 mm, and they serve for setting of fastening elements (fig. 4).

Accurate cylindrical openings are determined for base of cylindrical fingers. Flat head cylindrical fingers are chosen as setting element.

Three setting cylindrical fingers with flat surface (forming main reference surface) and three cylindrical fingers, creating coordinate angle, are set on the plate. Component part is driven to the contact with these elements. Component part

fastening is carried out by means of two clamp straps, fastened on the plate in thread bushing. The plate is based on machine table with the help of two spline keys.

Device construction in question is designed for setting and fastening rectangular plates and covers, carried out by clamp straps. Installation device can be set both on machines table and on mounting plates, included into different kits of assembly machine-tool devices [3].



### Results

Experimental results of strain-stress state have shown that movement and stress values, originating during machining process, in offered machine accessory is insignificant, for example, deformations are not greater than 0.3 micron. After piece chucking, the unite system, which includes piece, supports and body frame of the device is created.

Research results of strain-stress state have shown that relocation and stress values, originating during mechanic processing, in proposed machine-tool device are less than standard ones.

Such technical solution in combination with rotating table of the bench provides realization of all drilling, milling and boring operations under conditions of stable fastening of the component part in one complex operation, carried out on processed center with CNC. Thus, manufacturing method is shortened by several operations.

It is confirmed, that designed technical solutions redound to intensification of technological process of mechanical processing and don't initiate deterioration of accuracy rate.

### Conclusions

Carried out researches of strain-stress state analysis have shown that designed construction of the device for component parts processing provides multicoordinating processing and meets the requirements of structural robustness, and also significantly reduces expenses of additional and setting-up time.

The task lies in increasing of the accuracy of component parts processing and in improvement of the construction of installation machine accessory. The article offers construction of machine accessory, which provides processing of component parts, such as plates and covers in single fastening and provides shortening of time consumption for readjustment.

### References

1. Palivoda Yu.S. Dimensional rows / Yu.S. Palivoda, A.E. Diachuk, Yu. B. Katcapillia, I.S. Tkachuk. – Ternopil : Ternopil Ivan Puluy's National Technical University, 2018. – 132 p.
2. Adamenko Yu.I. Engineering tolerances, fits and technical measurements. Practicum. Part I / Yu.I. Adamenko, O.M. Gerasymchuk and other. – Ivano-Frankivsk : Symfoniya-forde, 2016. – 164 p.
3. Ivanov V.O. Reserves of flexibility increasing of machine accessories for mechanic processing industry / V.O. Ivanov, V.Ye. Karpus, I.M. Degtiarov // ZhDTU Vestnik. Series "Technical sciences". – Zhytomyr : ZhDTU, 2015. – No. 4. – P. 38–44.

Рецензія/Peer review : 15.09.2020 р.

Надрукована/Printed :03.11.2020 р.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРАЦЮВАННЯ НА ТРІЩИНІСТІЙКІСТЬ СТАЛЕЙ МОСТОВИХ КРАНІВ

Об'єктом дослідження є металокопструкції мостових кранів з терміном експлуатації, що перевищує нормативний, однак вони далі експлуатуються у порту. Понаднормова та тривала експлуатація у режимі інтенсивного циклічного навантаження в сукупності зі зміною фізико-механічних властивостей внаслідок корозійної деградації металу призводить до зниження працездатності кранів. Окрім того, відсутність достатнього фінансування для підтримки ресурсу на належному рівні є актуальною задачею, оскільки останній визначається опірністю втомного руйнування мостових кранів. Слід зазначити, що на термін експлуатації кранів з понаднормовим навантаженнями впливають термін напрацювання, фактичні умови експлуатації та режими навантаження, стан на момент спостереження, наявність та склад агресивних середовищ, можливість часткового відновлення ресурсу шляхом ремонту, якість та технологія їх виготовлення, якість матеріалу, особливості технічного обслуговування, якість та стан захисних покриттів. Метою роботи є встановлення впливу напрацювання в умовах агресивного середовища на характеристики тріщинистості зразків металокопструкцій мостових кранів. Для досліджень були використані плоскі балочні зразки з одностороннім надрізом, які виготовлені з листової низьковуглецевої сталі Ст3, та вирізані в двох різних ділянках з металокопструкцій кінцевих балок мостових кранів, що експлуатувалися протягом 20, 27 і 38 років в порту. З кожної ділянки вирізали по 3 зразки. Місця вирізання зразків вибирались з врахуванням схеми діючих напружень в конструкціях елементів крана. У процесі досліджень на заданих режимах випробувань за обома полірованими бічними поверхнями зразків періодично вимірювали довжину тріщини. При цьому фіксувалося відповідне число циклів. Експериментальні кінетичні діаграми втомного руйнування матеріалу свідчать про те, що збільшення терміну призводить до інтенсифікації росту тріщини.

Ключові слова: мостовий кран, сталь Ст3, напрацювання, швидкість росту втомної тріщини.

V.V. STRELBITSKIY  
Odessa National Maritime University

### AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE IMPACT OF AGE ON THE CRACK RESISTANCE OF THE OVERHEAD TRAVELLING CRANES

The object of research is the metal structures of overhead cranes, the service life of which has exceeded the standard, but they are further operated in the port. Over-standard and long-term operation in the mode of intensive cyclic loading in combination with a change in physical and mechanical properties as a result of corrosion degradation of the metal leads to a decrease in the efficiency of the cranes. It should be noted that each case of crack propagation requires a separate study, since the endurance of the structure significantly depends on both the geometric and physical and mechanical parameters of the system. It should be noted that when designing them, the designers established large safety margins. In addition, the lack of sufficient funding to maintain the resource at the proper level is an urgent task, since the latter is determined by the fatigue failure resistance of bridge cranes. For the research, flat beam specimens with a one-sided notch were used, made of low-carbon steel sheet St3, and cut in two different sections from the metal structures of the end beams of overhead cranes, were operated for 20, 27 and 38 years in the port. 3 samples were cut from each site. The locations for cutting out the samples were selected taking into account the scheme of acting stresses in the structures of the crane elements. In the process of investigations at the specified test modes, the crack length was periodically measured on both polished lateral surfaces of the samples. In this case, the corresponding number of cycles was recorded. Experimental kinetic diagrams of fatigue fracture of the material indicate that an increase in the period leads to an intensification of crack growth, in particular, in the range of  $K = 7 \dots 18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ , the rate increases by 1.3–2.

Keywords: overhead travelling crane, age on the crane, St3 steel, fatigue crack growth rate.

### Постановка проблеми

Мостові крани отримали широке розповсюдження в різних галузях промисловості, оскільки вони не тільки виконують більшу частину підйомно-транспортних робіт, а також включені безпосередньо в технологічний процес. Слід відзначити, що від їх надійної та безперервної роботи залежить продуктивність портових ліній. Необхідно відмітити той факт, що на сьогодні в Україні з усіх працюючих кранів більше 85 % відпрацювали нормативний термін служби. Оновлення фондів здійснюється вкрай повільно: при нормі 8–10 % щорічно оновлюється не більше 1 % кранового парку.

Слід також врахувати, що понаднормова та тривала експлуатація металокопструкцій в режимі інтенсивного циклічного навантаження у сукупності з дією агресивного середовища на металеві копструкції призводить до зниження їх працездатності, накопичення дефектів і пошкоджуваності, розвитку втомних тріщин внаслідок утворення додаткових концентраторів (рис. 1) та передчасного виходу крана з ладу [1–4]. У зв'язку з цим виникла необхідність виявлення вузлів копструкції машини, які найбільш часто призводять до поломок, а отже, і простоїв обладнання. При оцінці стану металокопструкцій необхідно звернути увагу на наявність дефектів, що представляють явну небезпеку і можуть призвести до крихкого руйнування. До таких дефектів відносяться тріщини в основному металі, в зварних швах і біля шовної зони.

Незважаючи на те, що під час проектування металокопструкцій конструктори встановлюють запаси міцності з урахуванням дії можливих експлуатаційних навантажень [3, 4], приховані та утворені в процесі виготовлення та експлуатації дефекти призводять до передчасного зниження терміну їх експлуатації.

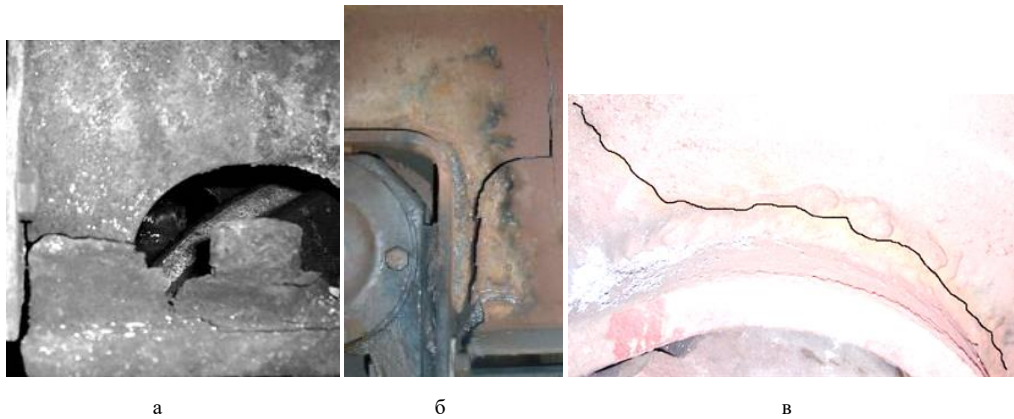


Рис. 1. Тріщини у вузлах спряження головної (а) та кінцевих (б, в) балках мостових кранів

Зазначимо, що на термін експлуатації кранів з понаднормовим навантаженнями впливають термін напрацювання, фактичні умови експлуатації та режими навантаження, стан на момент спостереження, наявність та склад агресивних середовищ, можливість часткового відновлення ресурсу шляхом ремонту, якість та технологія їх виготовлення, якість матеріалу, особливості технічного обслуговування, якість та стан захисних покриттів [1, 4]. Так, наявність корозійного середовища змінює кінетику руйнування сталі.

### Аналіз публікацій

Аналіз проведених досліджень металевих конструкцій мостових кранів, які попрацювали значний термін, показав наступне:

1) збільшення терміну служби (напрацювання) призводить до погіршення ударної в'язкості металу, тобто його опірності крихкому руйнуванню при суттєвій зміні міцності та пластичності сталі [1, 4–7]; тому можна припустити, що погіршиться й опір втомному руйнуванню;

2) термін напрацювання неоднозначно впливає на механічні характеристики матеріалів [1, 4, 5];

3) виявлені корозійні пошкодження конструкцій, у вигляді язв чи поверхневих ушкоджень, носять випадковий характер та впливають істотно на залишкову довговічність [4];

4) найбільші напруження виникають у вузлі кріплення кутових букс ходових коліс на кінцевих балках, який сприймає вертикальні навантаження і поперечні горизонтальні та перекосу зусилля, що виникають під час руху крана;

5) руйнування металокопункцій в процесі експлуатації передусім пов'язано з циклічними навантаженнями в процесі експлуатації, які чутливі до концентраторів напружень і сприяють утворенню мікротріщин біля корозійних виразок. Причому останні переростають в подальшому в макротріщину, що поширюється в тіло металокопункції [1, 4].

Отже, можна припустити, що безпека експлуатації мостових кранів, котрі відпрацювали нормативний термін працездатності, напряму залежить від характеристик тріщиностійкості металу кінцевих балок. Однак, вплив тривалості навантажень на кінетику росту втомних тріщин металокопункцій мостових кранів, які пропрацювали більше 30 років в умовах порту, на сьогодні в науковій літературі розглянуто недостатньо. Слід відзначити, що кожен випадок поширення тріщини потребує окремого дослідження, оскільки витривалість конструкції істотно залежить як від геометричних, так і від фізико-механічних параметрів системи [1, 4–7].

Метою роботи є встановлення впливу напрацювання в умовах агресивного середовища на характеристики тріщиностійкості зразків металокопункцій мостових кранів.

### Викладення основного матеріалу

Методи експериментального визначення швидкості розвитку втомної тріщини (РВТ) регламентуються відповідними нормативними документами [1, 5, 7].

Для досліджень були використані плоскі балочні зразки з одностороннім надрізом, які виготовлені з листової низьковуглецевої сталі Ст3, та вирізані в двох різних ділянках з металокопункцій кінцевих балок мостових кранів, що експлуатувалися протягом 20, 27 і 38 років в порту (рис. 2). З кожної ділянки вирізали по 3 зразки. Місця вирізання зразків обирались з врахуванням схеми діючих напружень в конструкціях елементів крана.

З метою забезпечення необхідних розмірів після вирізання, зразки остаточно шліфували (відхилення розмірів не перевищували  $\pm 0,02$  мм). Для забезпечення відповідної точності візуальної реєстрації довжини тріщини, а також її руху бічні поверхні робочої частини зразків полірували.

Випробування полягали в послідовному вимірюванні довжини тріщини  $l$ , що росте, за заданих параметрів циклу навантаження, в міру збільшення числа циклів  $N$  навантаження. Причому, довжину тріщини вимірювали періодично за обома полірованими бічними поверхнями зразків, фіксуючи відповідне число циклів.

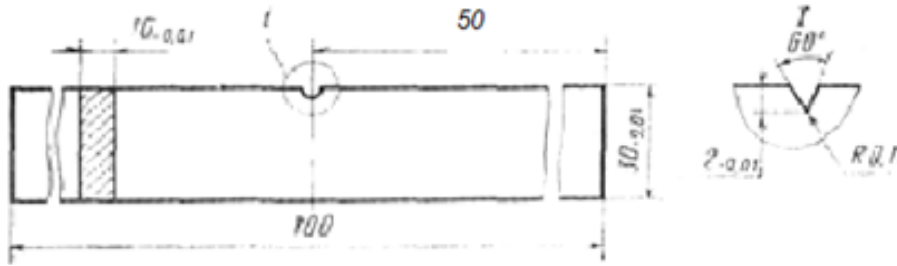


Рис. 2. Експериментальні зразки

Далі, обчислювали швидкість росту тріщини у вигляді відношення  $dl/dN$  як середній приріст довжини тріщини за один цикл та будували кінетичну діаграму втомного руйнування (КДВР).

Зразки навантажували консольним згином на випробувальній машині з жорстким типом навантаження, частотою 10 Гц, за асиметрії циклу  $R = 0,05$  (яка наближена до синусоїдальної форми циклу) та температури зовнішнього повітря 20 °С.

Отримані значення усереднювали для кожної групи зразків.

За отриманим експериментальними даними будували кінетичні діаграми втомного руйнування «максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН)  $K_{max}$  – швидкість росту тріщини  $da/dN$ » (рис. 3), а також розраховували коефіцієнти  $C$  і  $n$ , характеристики циклічної тріщиностійкості матеріалу на ділянці Періса, за залежністю (1) за методикою [5].

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^n \tag{1}$$

Результати розрахунків наведені на рис. 3 і у табл. 1.

Таблиця 1

**Характеристики циклічної тріщиностійкості зразків зі сталі Ст3**

Номер ділянки зразка	Напрацювання, $p$	Характеристики циклічної тріщиностійкості		Коефіцієнт кореляції
		$C$	$n$	
1	20	$6,435 \cdot 10^{-12}$	3,619	0,96
	27	$6,9 \cdot 10^{-12}$	3,641	0,96
	38	$7,7 \cdot 10^{-12}$	3,621	0,97
2	20	$6,435 \cdot 10^{-12}$	3,619	0,96
	27	$6,828 \cdot 10^{-12}$	3,629	0,97
	38	$7,637 \cdot 10^{-12}$	3,613	0,97

Так як товщини зразків для випробувань і реальних металевих конструкцій однакові, то з певною ймовірністю можна припустити, що і швидкості росту тріщини мають бути наближені. Це дозволяє використовувати отримані кінетичні діаграми втомного руйнування для проведення інженерних розрахунків на стадії проектування.

За заданої асиметрії циклу  $R = 0,05$  термін напрацювання не суттєво вплинув на швидкість росту втомної тріщини. Це відповідає загальновідомим закономірностям і можна пояснити істотним збільшенням ефекту закриття тріщини, спричиненого зростанням шорсткості поверхні, котра нівелює її потенційне прискорення в результаті зниження опірності деградованого металу втомному руйнуванню. Однак за високих  $R$ , коли чинник закриття тріщин вже не визначає кінетику руйнування [1, 4, 5].

За результатами отриманих КДВР встановлено, що збільшення напрацювання призводить до інтенсифікації росту тріщини лише на низько- та середньоамплітудних ділянках, зокрема в діапазоні значень  $K_{max}=12...40$  МПа·м<sup>1/2</sup> швидкість збільшується у 1,7–2,5 рази. Проте, на низько- та високоамплітудних ділянках розбіжності між швидкостями незначні, що узгоджується з даними, наведеними в літературних джерелах [1, 4, 5].

Аналіз обстежених металевих зразків показав, що більшість поверхонь зразків уражені не глибокими корозійними ушкодження у вигляді язв та поверхневих дефектів. Металографічний аналіз зламів проводили на оптичному мікроскопі Neophot-21, а мікрофрактографічний – на сканувальному електронному мікроскопі Carl Zeiss EVO-40XVP.

Візуальний огляд зламів зразків показав відсутність відкладення оксидів на ділянках припорогових швидкостях розповсюдження тріщини, що цілком узгоджується з дослідженнями, крім того магістральний напрямок росту тріщини орієнтований справа наліво.

Експлуатація в умовах корозійного (водневого) середовища призвела до утворення корозійних дефектів на поверхнях металу.

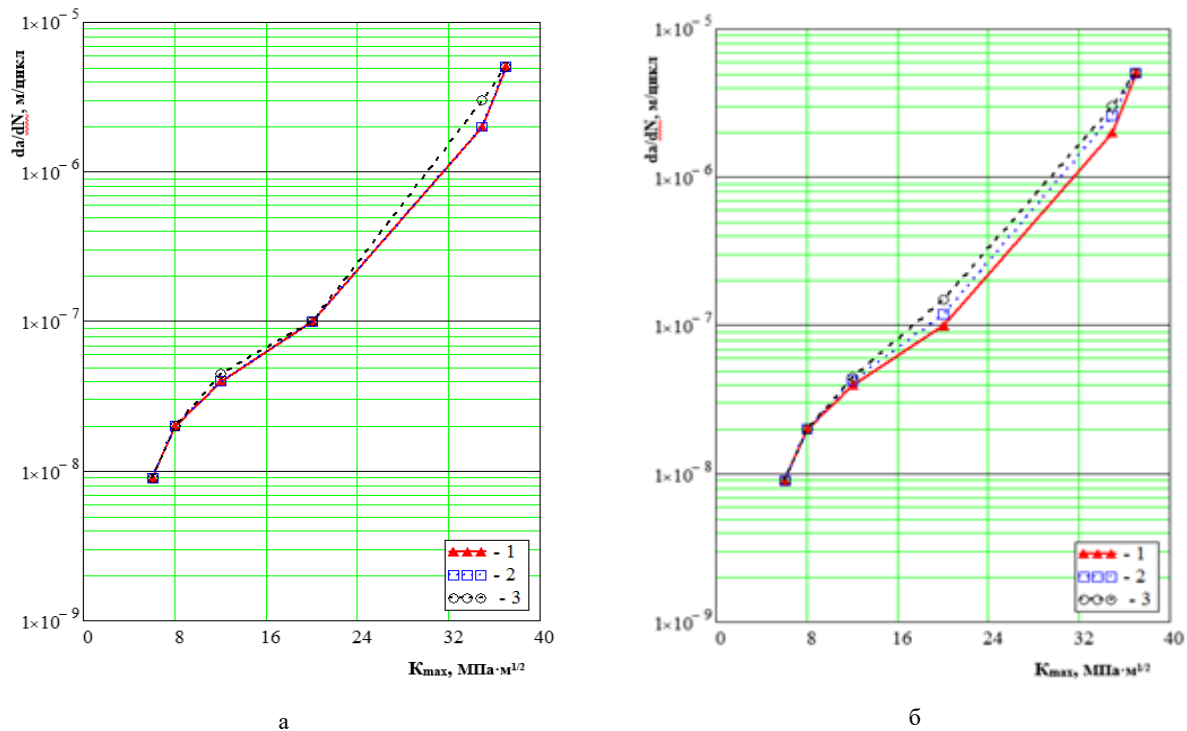


Рис. 3. Кінетичні діаграми втомного руйнування зразків зі сталі Ст3, вирізаних на ділянках 1 (а) та 2 (б), що експлуатуються впродовж 20 (1), 27 (2) та 38 (3) років

### Висновки

Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень показав наступне:

- 1) за заданої асиметрії циклу  $R = 0,05$  термін напрацювання не суттєво вплинув на швидкість росту втомної тріщини Ст3 і асиметрію циклу навантаження металу порталних кранів;
- 2) збільшення напрацювання призводить до інтенсифікації росту тріщини лише на низько- та середньоамплітудних ділянках, зокрема в діапазоні значень  $K_{\max} = 12 \dots 40$  МПа·м<sup>1/2</sup> швидкість збільшується у 1,7–2,5 рази. Проте, на низько- та високоамплітудних ділянках розбіжності між швидкостями незначні, що узгоджується з даними, наведеними в літературних джерелах [1, 4, 5];
- 3) більшість поверхонь зразків уражені не глибокими корозійними ушкодженнями у вигляді язв та поверхневих дефектів;
- 4) металографічний аналіз зразків показав відсутність міжкристалічної корозії, магістральний напрямок росту тріщини орієнтований справа наліво.

### Література

1. Пустовой В.Н. Металлоконструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса / В. Н. Пустовой. – М. : Транспорт, 1992. – 256 с.
2. Немчук О.О. Експериментальне дослідження впливу напрацювання на тріщиностійкість сталей порталних кранів / О.О. Немчук, В.В. Стрельбицький // Вісник Хмельницького національного університету, серія: Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 17–20.
3. Стрельбицький В.В. Експериментальне дослідження впливу напрацювання та асиметрії циклу на тріщиностійкість сталей порталних кранів / В.В. Стрельбицький, О.О. Немчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 1. – С. 245–248.
4. Ботвина Л.Р. Высокоцикловое усталостное разрушение малоуглеродистой стали после её длительного старения / Л.Р. Ботвина, И.М. Петрова, И.В. Гадолина, В.П. Левин, Ю.А. Демина, А.П. Солдатенков, М.Р. Тютин // Заводская лаборатория «Диагностика материалов». – 2009. – № 6. Том 75. – С. 44–51.
5. Романів О.М. Вплив експлуатаційної пошкодженості паропровідної сталі 12Х1МФ на характеристики її тріщиностійкості / О.М. Романів, Г.М. Никифорчин, І.Р. Дзюба // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1998. – 34, № 1. – С. 101–104.
6. Харченко Л.Є. Діагностика водневого макророзшарування в стінці гину труби системи магістральних газопроводів / Л.Є. Харченко, О.Є. Кунта, О.І. Звірко, Р.С. Савула, З.А. Дурягіна // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2015. – № 4. – С. 84–90.
7. Никифорчин Г.М. Деградація властивостей сталей магістральних газопроводів упродовж їх сорокарічної експлуатації / Г.М. Никифорчин, О.Т. Цирульник, Д.Ю. Петрина, М.І. Греділь // Проблемы прочности. – 2009. – 41, № 5 (401). – С. 66–72.

## References

1. Pustovoj V.N. Metallokonstrukcii gruzopodemnyh mashin. Razrushenie i prognozirovanie ostatochnogo resursa / V. N. Pustovoj. – M. : Transport, 1992. – 256 s.
2. Nemchuk O.O. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuвання na trishchynostiikist stalei portalnykh kraniv / O.O. Nemchuk, V.V. Strelbitskyi // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, seriia: Tekhnichni nauky. – 2019. – № 1. – S. 17–20.
3. Strelbitskyi V.V. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuвання ta asymetrii tsyklu na trishchynostiikist stalei portalnykh kraniv / V.V. Strelbitskyi, O.O. Nemchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2020. – № 1. – S. 245–248.
4. Botvina L.R. Vysokociklovoe ustalostnoe razrushenie malouglerodistoy stali posle eyo dlitel'nogo stareniya / L.R. Botvina, I.M. Petrova, I.V. Gadolina, V.P. Levin, Yu.A. Demina, A.P. Soldatenkov, M.R. Tyutin // Zavodskaya laboratoriya «Diagnostics materialov». – 2009. – № 6. Tom 75. – S. 44–51.
5. Romaniv O.M. Vplyv ekspluatatsiinoi poshkodzhennosti paroprovidnoi stali 12Kh1MF na kharakterystyky yii trishchynostiikosti / O.M. Romaniv, H.M. Nykyforchyn, I.R. Dziuba // Fiz.-khem. mekhanika materialiv. – 1998. – 34, № 1. – S. 101–104.
6. Kharchenko L.Ie. Diahnostyka vodnevoho makrozharuvannia v stintsi hynu truby systemy mahistralnykh hazoprovodiv / L.Ie. Kharchenko, O.Ie. Kunta, O.I. Zvirko, R.S. Savula, Z.A. Duriagina // Fiz.-khem. mekhanika materialiv. – 2015. – № 4. – S. 84–90.
7. Nykyforchyn H.M. Dehradatsiia vlastyvostei stalei mahistralnykh hazoprovodiv uprodovzh yikh sorokarichnoi ekspluatatsii / H.M. Nykyforchyn, O.T. Tsyrunyk, D.Iu. Petryna, M.I. Hredil // Problemy prochnosti. – 2009. – 41, № 5 (401). – S. 66–72.

Рецензія/Peer review : 18.09.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА**

DOI 10.31891/2307-5732-2020-287-4-143-148

УДК 621

**К.Л. ГОРЯЩЕНКО, А.А. ТАРАНЧУК, Я.В. СУПРУНЮК**

Хмельницький національний університет

**О.В. ЦИРА**

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

**ЗАСТОСУВАННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ АЛГОРИТМІВ  
У СИСТЕМАХ ОБМЕЖЕНОЇ ПРОЦЕСОРНОЇ ПОТУЖНОСТІ**

*Один з напрямків розвитку безпроводових систем передачі інформації ґрунтується на впровадженні мереж на базі простих вузлів, що використовуються в таких стандартах, як ZigBee, Bluetooth, Wibree. Інформація, що передається мережею, може бути перехоплена та використана третьою стороною. Простота конструкції, мінімальне енергоспоживання та мінімальний обсяг пам'яті не дозволяють впровадити складні алгоритми криптографічного захисту інформації. Складність алгоритму захисту обумовлена розрядністю процесора (8, 16 або 32 біти), наявним обсягом пам'яті ПЗП та ОЗП, а також енергоспоживанням в процесі виконання криптографічного перетворення. Обсяг пам'яті також є важливим для прийняття, обробки та передачі інформації між вузлами мережі.*

*Ключові слова: безпроводова мережа, вузол, криптографія.*

**K.L. HORIASHCHENKO, A.A. TARANCHUK, Y.V. SUPRONYUK**

Khmelnitsky national university, Ukraine

**O. TSYRA**

Odessa national academy of communication named by O. Popov

**APPLICATION OF CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS IN SYSTEMS WITH LIMITED PROCESSING POWER**

*One of the directions of development of wireless information transmission systems is based on the introduction of networks based on simple nodes used in such standards as ZigBee, Bluetooth, Wibree. Information transmitted over the network may be intercepted and used by a third party. Simplicity of design, minimum power consumption and minimum amount of memory do not allow to implement complex algorithms of cryptographic protection of information. The complexity of the protection algorithm is due to the bit size of the processor (8, 16 or 32 bits), the available amount of RAM and ROM, as well as power consumption during cryptographic conversion. The amount of memory is also important for receiving, processing and transmitting information between network nodes.*

*One of the possible ways to increase the efficiency of cryptographic operations in hardware is to build them on the principle of "master – slave". The method involves the use of a general-purpose processor as the central head of the device module ("master"), and a specialized arithmetic coprocessor ("master"), which performs all time-consuming operations under the control of the master.*

*Keywords: wireless network, node, cryptography.*

**Вступ**

Сьогодні у світовій практиці послуг у сфері контролю стану розподілених в просторі вузлів визначилася стійка тенденція на посилення ролі технічних засобів. Тенденція ця не випадкова: численні дослідження в області особистої і майнової безпеки показали, що широке використання технічних засобів дозволяє виключити або звести до мінімуму негативний вплив самої ненадійної ланки в системі - людини, якій властиві стомлюваність, неуважність, халатність і т. п. При цьому, організація розподіленої мережі контролю і передачі за допомогою технічних засобів обходиться споживачеві значно дешевше, а надійність її вища [1, 5].

По факту, в середині 1990-х років, такими вузлами мережі контролю і передачі ставали системи безпеки для охоронних систем.

У завданнях 2020-х років – розподілені системи контролю за станом здоров'я людей в приміщеннях, на вулиці, в транспорті і так далі. Глобальна пандемія вірусу COVID-19 веде до усвідомленої необхідності створення медичних мереж контролю.

Історично, при створенні систем розподіленого контролю основна увага приділялася таким аспектам, як [1]:

– автоматизація, яка дозволяє до мінімуму спростити процеси введення об'єктів під охорону, скоротити обслуговуючий персонал; істотно скоротити кількість неправдивих тривог через втручання в роботу системи;

– контроль каналу зв'язку, що забезпечує високу достовірність передачі і виключає втрату тривожної інформації;

– розробка широкої гамми об'єктових пристроїв з різними функціональними і сервісними можливостями, що дозволяють задовольнити потреби найширших верств населення.

З точки зору організації захисту об'єктів від несанкціонованого проникнення, як по устаткуванню технічними засобами охорони, так і по тактиці дій чергових служб, існуючі системи не мають яких-небудь істотних відмінностей.

### **Передача інформації з використанням безпроводових технологій**

Питання про достовірне та безпечне надсилання інформації від приймача до отримувача відоме ще з давніх часів. Основним завданням криптографії в давні часи було забезпечення конфіденційності, або простіше кажучи шифрування – інформація, що містилася, мала бути змінена таким чином, щоб прочитати та зрозуміти міг лише той, кому дійсно назначено [1], а не будь-яка інша стороння особа, без відомостей про спосіб, яким було зашифрована відповідна інформація.

Криптографічним алгоритмом (шифром) називається така математична функція, що дозволяє виконати над інформацією дію шифрування та дешифрування.

Найпопулярнішим способом в давні часи був так званий шифр Цезаря (або інша назва – шифр зсуву) – шифрування інформації, що передавалася на папері, в якому кожна буква тексту, що був написаний, замінювалась на ту, яка була віддалена (зсунута) на три позиції в буквенному алфавіті. Простий для нинішньої техніки шифр, став основою для складніших способів, до прикладу шифр Віженера чи ROT13 [1, 6].

З розвитком людства і науки, такі способи шифрування інформації ставали все більш неефективними. Наступним кроком стали машини, які виконували шифрування та дешифрування інформації, найвідомішою з яких є Енігма. Та з появою комп'ютерних систем, можна було зашифрувати будь-які дані, представивши їх у двійковому вигляді, а не лише у текстовому вигляді, як це відбувалося доволі довгий період людства.

В наш час це питання так і залишилось актуальним, тільки тепер інформацією обмінюються не лише люди, а й пристрої, які оточують нас. І чим більше є таких пристроїв, тим гостріше стає це питання.

Перед криптографічними методами завжди висувують наступні вимоги [4]:

1. Зашифроване повідомлення можливо прочитати лише при наявності ключа.
2. Кількість операцій, що потрібні для визначення використаного ключа шифрування по фрагменту зашифрованого повідомлення й відповідного відкритого тексту, повинно бути не менше загального числа можливих ключів.
3. Кількість операцій, які необхідні для розшифрування повідомлення способом перебору ключів, повинно мати строгу нижню порогову оцінку й виходити за межі можливостей сучасного обладнання, або вимагати високі витрати на обчислення.
4. На надійність захисту шифрованої інформації не впливає знання сторонніми алгоритму шифрування.
5. Маленька зміна ключа шифрування призводить до істотних змін самої зашифрованої інформації, навіть при шифруванні вихідного тексту, який був зашифрований.
6. Незначна зміна вихідного тексту призводить до істотних змін зашифрованої інформації, при використанні того ж ключа шифрування.
7. Структурні елементи алгоритму шифрування завжди залишаються без змін.
8. Додаткові біти, що вводяться в інформацію, в процесі її шифрування, повинні бути надійно сховані в зашифрованій інформації.
9. Довжина зашифрованої інформації не повинна перевищувати загальну довжину вихідної інформації.
10. Мають бути виключені прості та легкі залежності, які використовуються для формування ключа шифрування.
11. Будь-який ключ з множини ключів має забезпечувати надійний захист інформації.
12. Реалізація алгоритму повинна бути як на програмному та апаратному рівні. Тому для подальшого розвитку і вдосконалення систем збору та передачі інформації до нових розробок останнім часом пред'являються додаткові вимоги:

- імітостійкість і криптозахист, системи, що забезпечують стійкість, до несанкціонованого «обходу» і обумовлені появою «кваліфікованих» крадіжок;
- висока інформативність, що забезпечує розділення сигналів про проникнення і пожежу, аварію або зміну параметрів лінії зв'язку і т. д.;
- можливість сполучення системи з оптоволоконними каналами зв'язку, обумовлена впровадженням підприємствами зв'язку нових цифрових технологій передачі інформації;
- уніфікація створюваних технічних засобів, тобто можливість об'єднання різних пристроїв в єдиний програмно-апаратний комплекс збору та передачі інформації.

Пріоритетним завданням технічної політики в області розвитку таких систем є розробка відсутніх на сьогодні єдиних вимог, що в умовах різноманіття існуючих і нових, дозволить уніфікувати стики систем передачі сповіщень.

### **Передача інформації з використанням бездротових технологій**

Разом з ростом технологій та розвитком мобільних пристроїв, стало зрозуміло, що дріт використовувати можна на невеликих відстанях, і для пристроїв, що в більшості випадків використовуються стаціонарно, без переміщення по великих площах. Постало питання про впровадження бездротового з'єднання, для передачі інформації між пристроями на відкритій місцевості. Таким чином, почався розвиток бездротового підключення. В залежності від відстані, на якій буде передаватись інформація, бездротові мережі можна поділити на три класи: WPA, WLAN, WMAN.



За дальністю дії, бездротові мережі, можна поділити наступним чином [7]:

**WPAN** – бездротова мережа, що охоплює невелику частину території, невелику швидкість передачі інформації, а також передача інформації відбувається лише між декількома пристроями. Прикладом такої технології є Bluetooth, ZigBee.

**WLAN** – бездротова мережа, що охоплює середню за розміром ділянку (відстанню до 100 метрів), в залежності від використання стандарту передачі та частоти розміщення, швидкість передачі може сягати до 3,4 Гбіт/с. Прикладом такої технології є Wi-Fi.

**WMAN** – бездротова мережа, що охоплює велику територію (область покриття до 50 кілометрів). В залежності від використання стандарту, швидкість передачі може варіюватись, максимальним значенням є 1 Гбіт/с. Прикладом такої технології є WiMax.

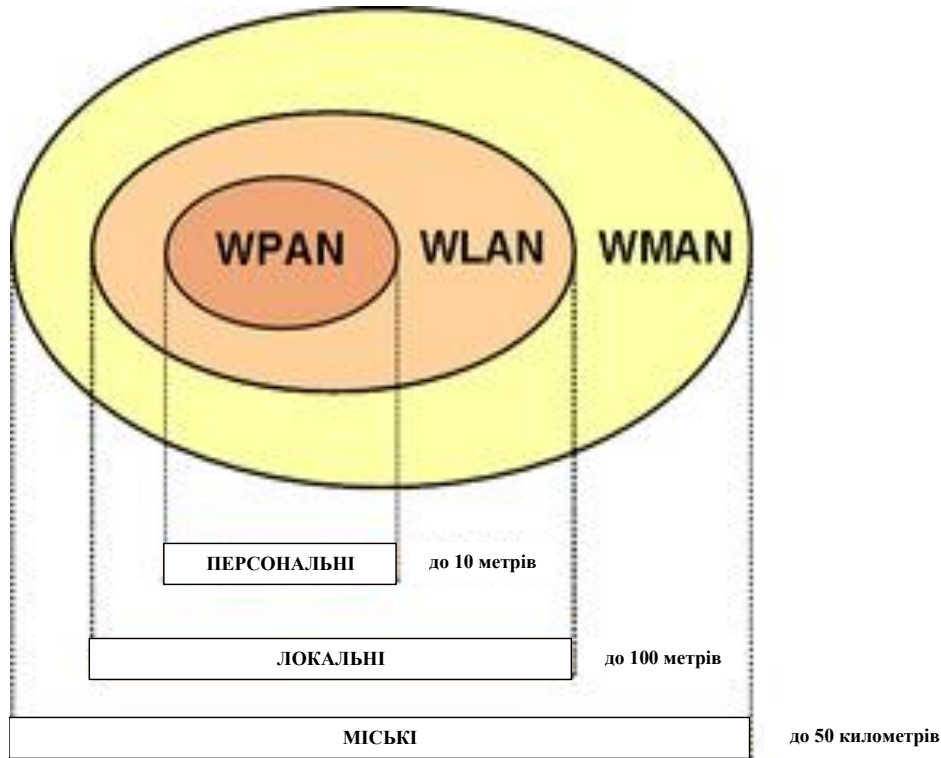


Рис. 1. Класифікація безпроводових технологій в залежності від дальності дії [7]

Безпроводні сенсорні мережі – це розподілені мережі, що мають здатність до реорганізації власної структури. Характеризуються стійкістю до відмови окремих елементів цієї мережі, а також обмінюються інформацією по безпроводному зв'язку. Кожен елемент мережі має автономне джерело живлення, мікрокомп'ютер, приймач/передавач.

Виділяють наступні основні стандарти для малопотужних безпроводних мереж:

- IEEE 802.15.4;
- ZigBee;
- Bluetooth;
- Wibree.

Область покриття мережі може складати від декількох метрів до декількох кілометрів, залежно від типу модуля і антени, а також за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого. Обмін даними між двома кінцевими пристроями може здійснюватися через ретранслятор, у тому випадку, якщо дальність роботи цих пристроїв не дозволяє їх взаємне виявлення. Таким чином, пристрою з малим радіусом дії за допомогою системи ретрансляторів можуть спілкуватися один з одним.

#### Постановка проблеми дослідження на прикладі пристроїв мережі ZigBee

Пристрої безпроводової системи забезпечують можливість швидкого створення мережі. Як було показано вище, пристрої володіють власним джерелом живлення. Це джерело часто є простою батареєю з невеликою ємністю та призначеною для одноразового використання. Сам датчик-вузел мережі не підлягає ремонту або заміні в процесі експлуатації. Основна причина такого ставлення – відносна простота конструкції, мінімальний розмір та низька ціна. Наприклад, на рис. 2 наведено приклад включення модуля ZigBee (тип RC2300) для обміну даними по послідовному порту. Як видно з рисунку, модуль забезпечує функціонал зчитування, обробки, зв'язку та передачі.

У технології ZigBee використовується два типи модулів зв'язку різної складності. Повністю функціональний пристрій (FFD — Full Function Device) здатний приймати і передавати дані, у тому числі і

чужі (по ланцюжку). При об'єднанні FFD-устройств можуть бути реалізовані топології «зірка», «кожен з кожним» і «кластерне дерево».

Пристрій з обмеженим набором функції (RFD — Reduced Function Device) – це найпростіший тип, який може тільки переговорюватися з координуючим пристроєм. При об'єднанні в мережу RFD може використовуватися тільки в топології «зірка». Окрім ділення на FFD і RFD в специфікації ZigBee визначені три типи логічних пристроїв – координатор мережі, маршрутизатор і крайовий пристрій.

Координатор ініціалізував мережу, управляє мережевими вузлами, зберігає інформацію про налаштування кожного мережевого вузла, задає номер частотного каналу і ідентифікатор мережі PAN ID.

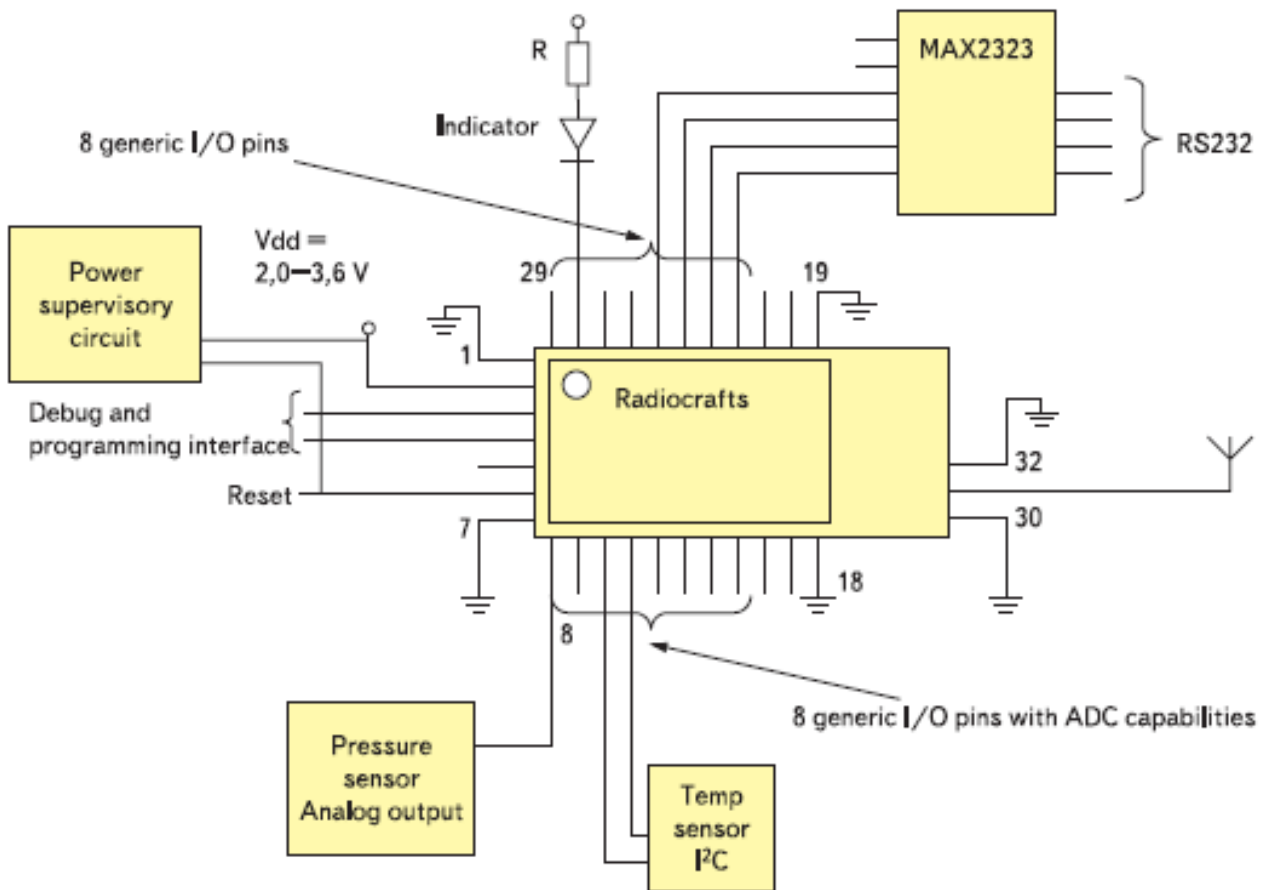


Рис. 2. Приклад включення модуля ZigBee (тип RC2300) для обміну даними по послідовному порту

### Проблема апаратної реалізації вузлів розподіленої мережі з підтримкою криптографії

Залежно від пристрою, який використовується кінцевим користувачем, визначається той чи інший клас бездротової передачі інформації.

Взаємодію між відправником і отримувачем з урахуванням криптографічної системи описується наступним чином [1]:

1. Відправник отримує з джерела генерування ключів, ключ K1, яким буде зашифрована інформація – повідомлення M.
2. Відправник зашифровує за допомогою ключа K1 необхідну для передачі інформацію M, та передає криптограму E відкритими каналами зв'язку в напрямку до одержувача (або одержувачів).
3. Отримувач, за допомогою джерела генерування ключів, отримує необхідний ключ K2, для розшифрування зашифрованої інформації. В залежності від схеми шифрування, ключі K1 та K2 можуть бути однаковими або різними.
4. Отримувач розшифровує за допомогою згенерованого ключа K2 зашифровану інформацію E, та отримує її в звичайному вигляді для ознайомлення – повідомленні M.

На рис. 3 показано також і шифрувальника супротивника. Супротивник намагається досягнути як мінімум дві мети:

- 1) встановлення ключа розшифрування K2 для можливості зчитування повідомлення M з криптограми E.
- 2) встановлення ключа шифрування K1 для можливості зміни повідомлення M або введення в мережу спотворених повідомлень.
- 3) Отже можна зробити висновок, що криптографічні протоколи, що використовуються в протоколі передачі інформації мають забезпечити надійність від втручання інших сторін не менше певного часу.

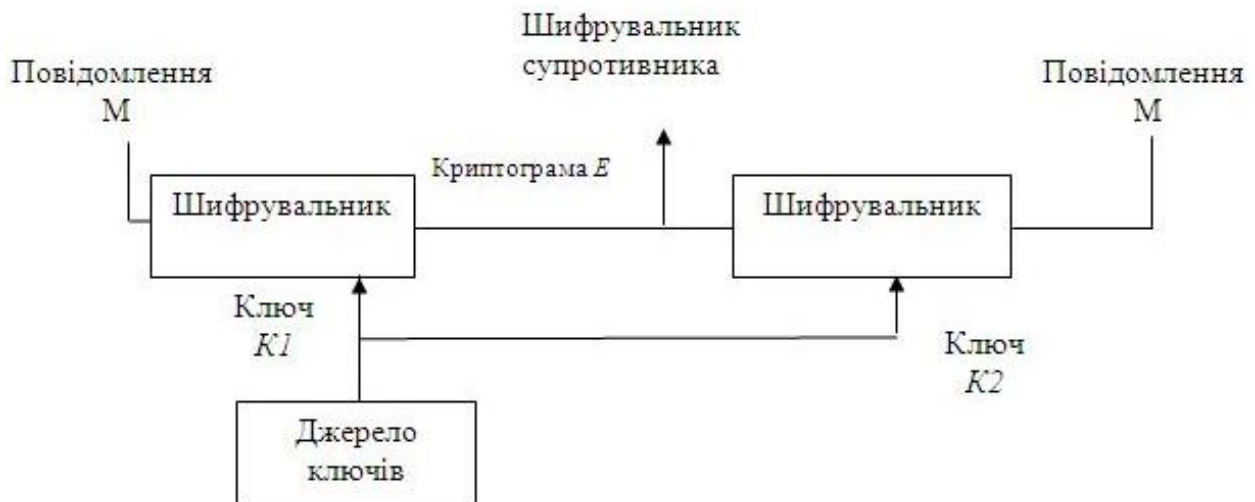


Рис. 3. Загальна структурна схема передачі інформації із застосуванням криптографії

Процес розробки апаратних або апаратно-програмних засобів криптографічного захисту інформації на основі сучасних асиметричних криптографічних алгоритмів, у тому числі і національних асиметричних криптографічних алгоритмів [1], безпосередньо пов'язаний з необхідністю реалізації арифметичних операцій, що лежать в основі алгоритмів. Так, стандарт ГОСТ 34.10-2018 використовує числа розмірністю не менше 256 біт, що в десятковому уявленні складає  $\approx 10^{77}$ :

- великі габарити, що робить неможливим їх застосування в малогабаритних і ношених пристроях, як наприклад в USB-ключах;

- велике споживання електроенергії, що знижує ефективність їх використання в пристроях з батарейним живленням;

- велика кількість виводів: більшість високопродуктивних процесорів мають кількість виводів від 300 і вище, що призводить до небажаних ускладнень схемотехніки проєктованих пристроїв. Крім того, конструктивне розташування виводів в сучасних корпусах спричиняє за собою необхідність в дорогому спеціалізованому устаткуванні, що унеможливує широкий розвиток розробок такого роду (як правило, усі процесори з числом виводів  $\geq 200$  випускаються в корпусах з кульковими виводами BGA);

- неоптимізована система команд під конкретне завдання: ефективність програмного коду (а, отже, і швидкість виконання програми) безпосередньо залежить від фіксованої системи команд конкретного процесора;

- обмежена розрядність даних: сучасні процесори мають фіксовану розрядність даних (8, 16 або 32 розряди), що призводить до збільшення програмного коду при виконанні криптографічних операцій, і як наслідок – до зниження продуктивності пристрою в цілому;

- лінійність програмного коду: в процесорах відсутні можливості незалежного і паралельного виконання декількох трудомістких операцій одночасно;

- висока вартість, яка росте пропорційно збільшенню продуктивності.

### Висновки

Виходячи з наведеного, можна зробити висновок, що використання високопродуктивних процесорів для виконання криптографічних операцій в апаратних засобах є малоефективним і недоцільним за рахунок великого енергоспоживання.

Одним із можливих способів підвищення ефективності виконання криптографічних операцій в апаратних засобах є їх побудова за принципом «ведучий–ведений». Спосіб припускає використання процесора загального призначення як центрального керівника модуля пристрою («ведучий»), і спеціалізований арифметичний співпроцесор («ведений»), що виконує усі трудомісткі операції під управлінням ведучого. Це зменшує енергоспоживання в моменти виконання дій прийому інформації та її передачі. Спеціалізований співпроцесор забезпечує швидкість обробки за короткі терміни часу.

### Література

1. Горященко К.Л. Формат Adobe PDF как средство распространения защищенной информации / К.Л. Горященко, И.В. Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2006. – № 1. – С. 132-136.
2. Бабаш А. В. Криптография (аспекты защиты). / А. В. Бабаш, Г. П. Шанкин. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2007. – 512 с.
3. Панасенко С. П. Аппаратные шифраторы / С. П. Панасенко, В.В. Ракитин // Журнал «Мир ПК». 2002. № 8.

4. Шокало В.М. Концепция создания отечественных специальных цифровых систем передачи информации / В.М. Шокало, А.И. Цопа // Научно-технический журнал «Защит информации». – Киев: ДУИКТ, 2006. – Вып. №3. – С. 51-57.
5. Горященко К.Л. Ризики цілісності інформації на переносних носіях інформації / К.Л. Горященко, О.І. Полікарівських, В.Є. Гавронський, Ю.І. Сніжко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 4. – С. 66-70.
6. Горященко К.Л. Аспекти захисту програмного коду у відкритому апаратному середовищі / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 2. – С. 208-212
7. Стрельницкий А.Е. Вариант повышения помехозащищенности радиоканала фиксированной связи WiMAX / А.А. Стрельницкий, А.И. Цопа, В.М. Шокало // Труды 8-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии» /СИЭТ'2007/. – Одесса, 2007. – С. 173.

#### References

1. Horiashchenko K.L. Format Adobe PDF kak sredstvo rasprostraneniya zashhishhennoj informacii / K.L. Horiashchenko, I.V. Trocishin // Vimirjuvalna ta obchisljuvalna tehnika v tehnologichnih procesah. – Hmelnickij. – 2006. – № 1. – S. 132-136.
2. Panasenko S. P., Rakitin V.V. Apparatnye shifratory // Zhurnal «Mir PK». 2002. № 8.
3. Babash A. V., Shankin G. P. Kriptografija (aspekty zashhity). — M.: SOLON-PRESS, 2007. – 512 s.
4. Shokalo V.M. Konceptija sozdaniya otechestvennyh special'nyh cifrovnyh sistem peredachi informacii / V.M. Shokalo, A.I. Copa // Naukovo-tehnichnij zhurnal «Zahist informacii». – Kii: DUIKT, 2006. – Vip. №3. – S. 51-57.
5. Horiashchenko K.L. Riski cilisnosti informacii na perenosnih nosijah informacii / K.L. Horiashchenko, O.I. Polikarovskih, V.E. Gavronskij, Ju.I. Snizhko // Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. – 2008. – №4. – S. 66-70.
6. Horiashchenko K.L. Aspekti zahistu programnogo kodu u vidkritomu aparatnomu seredovishhi / K.L. Horiashchenko // Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. – 2009. – №2. – S. 208-212
7. Strelnickij A.E., Copa A.I., Shokalo V.M. Variant povysheniya pomehozashhishhenosti radiokanala fiksirovannoj svjazi WiMAX // Trudy 8-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennye informacionnye tehnologii» /SIJeT'2007/. – Odessa, 2007. – S. 173.

Рецензія/Peer review : 19.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЦИФРО-АНАЛОГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРЯМИХ ЦИФРОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ ЧАСТОТИ

*Наукова стаття присвячена дослідженню одного з основних функціональних блоків прямого цифрового синтезатора частоти – цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). Запропонована архітектура прямого цифрового синтезатора частоти із застосуванням нелінійного ЦАП. Для побудови нелінійного ЦАП запропоновано застосування атенюатора-подільника, який полягає у використанні кодокерованої комутації точок проміжних з'єднань лінійки послідовно з'єднаних резисторів однакового номіналу.*

*Ключові слова: синтезатор частоти, прямі цифрові синтезатори частоти, нелінійний ЦАП.*

O.I. POLIKAROVSKYKH, I.V. HULA

Khmel'nitsky National University

### USE OF NONLINEAR DIGITAL-ANALOG CONVERTERS FOR CONSTRUCTION OF DIRECT DIGITAL FREQUENCY SYNTHESIZERS

*The scientific article is devoted to the study of one of the main functional units of the direct digital frequency synthesizer - digital-to-analogue converter (DAC). The architecture of a direct digital frequency synthesizer using a nonlinear DAC is proposed. To build a nonlinear DAC, the use of a divider attenuator is proposed, which consists in the use of coded switching of the points of intermediate connections of a line of series-connected resistors of the same denomination. The main functional unit of the DDS is the phase accumulator. The unsolved problem of the phase accumulator is the problem of the speed of propagation of the transfer signal from the discharge to the discharge of the terms. Increasing the speed of DDS is possible in the following way: increasing the speed of the phase battery and reducing its power consumption, reducing the size of the permanent storage device of the phase-amplitude converter, choosing the optimal DAC structure. Reducing energy consumption is one of the most important tasks when designing a DDS. Phase battery and DAC units have the highest power consumption in a direct digital frequency synthesizer, although the DC storage unit also has a significant power consumption. When developing high-speed DDS, two main approaches to their structure are also developed and competing - with the use of ROM and without the use of ROM. In the second case, most developments use a nonlinear DAC, which solves the problem of forming the structure of the harmonic signal and digital-to-analogue conversion.*

*Keywords: frequency synthesizer, direct digital frequency synthesizers, nonlinear DAC.*

### Постановка задачі

Відчутний прогрес в галузі радіотехніки у формуванні та обробці корисної інформації надає жорсткі вимоги до джерела носійного сигналу інформаційного повідомлення. На сучасному рівні розвитку систем зв'язку у процесі проектування збуджувачів, які як правило є основним джерелом носійної частоти, перевага надається синтезаторам частоти (СЧ). Розвиток найважливіших галузей сучасної науки і техніки, особливо таких як телекомунікації, радіолокація і радіонавігація, вимірювальна техніка, значною мірою визначається рівнем розвитку синтезаторів частоти. Проектовані СЧ мають забезпечувати компактне розміщення каналів радіозв'язку з гранично мільково сіткою частоти і мінімальними допусками на тривалу часову нестабільність і точність встановлення частоти, широкий діапазон переналаштування, високу чистоту спектру вихідного сигналу і мінімально можливий час переналаштування з однієї частоти на іншу. Найбільш перспективними СЧ є обчислювальні синтезатори – пристрої, що перетворюють коливання високостабільного опорного генератора в сигнали із заданими законами зміни частоти, фази і амплітуди. Такі якості прямих обчислювальних синтезаторів, як стійкість до впливу дестабілізуючих факторів, малий час переналаштування частот, здатність формування складних сигналів, можливість повної мікромініатюризації і можливість програмування параметрів дозволили вже сьогодні істотно підвищити техніко-економічні показники багатьох сучасних радіосистем.

Для забезпечення перелічених вимог доцільно застосувати прямі цифрові синтезатори частоти (DDS). По-перше, в них практично відсутні перехідні процеси, що визначає їх високу швидкодію. По-друге, архітектура DDS дає можливість з найменшими затратами виготовляти їх в інтегральному виконанні, в тому числі у вигляді макросів для програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС). По-третє, це найдешевші та технологічно прості синтезатори [1].

Для виготовлення перспективних DDS провідними фірмами розробниками пропонується використати високочастотні напівпровідникові технології. Для високочастотних DDS у цей час використовуються три основні технології: на основі InP, SiGe й GaAs. Перспективні DDS здебільшого поки пройшли апробацію лише при формуванні гармонічних вихідних коливань. Крім того, представлені розробки DDS наразі відрізняються істотними обмеженнями. Так, розрядність фазового акумулятора більшості DDS не перевищує 12 біт, що зовсім недостатньо для завдань формування сигналів із необхідними параметрами. При розробці швидкодіючих DDS також розвиваються й конкурують два основних підходи до їхньої структури – з використанням ПЗУ й без використання ПЗУ. У другому випадку в більшості розробок

застосовується нелінійний ЦАП, з допомогою якого вирішуються завдання формування структури гармонічного сигналу й цифро-аналогового перетворення.

### Виклад основного матеріалу

Основним функціональним блоком DDS є акумулятор фази. Не вирішеною проблемою фазового акумулятора є проблема швидкості поширення сигналу переносу із розряду у розряд доданків [2]. Затримка поширення сигналу переносу призводить до нерівномірності формування сигналів переповнення фазового акумулятора і відповідно до формування квазіперіодичного вихідного сигналу – секвентності [3]. На практиці такий фазовий акумулятор не може здійснити додавання за один тактовий період, через затримку результату на кожному одиничному суматорі. Підвищення швидкодії DDS можливо у наступний спосіб: підвищення швидкодії фазового акумулятора та зменшення його енергоспоживання, зменшення розміру постійного запам'ятовуючого пристрою перетворювача фаза-амплітуда, вибору оптимальної структури ЦАП. Зменшення енергоспоживання є одним із найважливіших завдань під час проектування DDS [4]. Найбільше енергоспоживання у прямому цифровому синтезаторі частоти мають блоки акумулятора фази та ЦАП, хоча і блок постійного запам'ятовуючого пристрою має значне енергоспоживання [4, 5].

В [6] показано, що в більшості сучасних DDS використовується достатньо висока на даному етапі розвитку мікроелектроніки розрядність ЦАП, яка складає 10–16 розрядів. Це забезпечує рівень вищих гармонік у вихідному сигналі не більше – (20...15 дБ). При цьому також знижується рівень дискретних компонент і спектру поблизу носійної, що проявляється у випадку нецілого числа. Також вказані деякі способи корекції такого роду складових: спеціальний вибір кроку дискретизації за рівнями; індивідуальна калібровка і вирівнювання рівнів спрацювання ключів у ЦАП і якості перехідних процесів; використання двох чи трьох ступенів вибірок із вихідного сигналу ЦАП, що виключають вплив початкового процесу після перемикання; використання подільників частоти з коефіцієнтом  $N/(N+1)$  у складі схеми формування опорного колювання, що покращує співвідношення між вихідною і тактовими частотами для деяких несприятливих співвідношень вказаних частот; формування на вході молодшого розряду ЦАП псевдовипадкової послідовності для розширення спектру паразитних спектральних складових (ПСС); збільшення періоду повторення помилок усереднення використанням більш довгої псевдовипадкової послідовності; стохастизація (рандомізація) вихідних сигналів DDS.

Перші чотири способи знижують величину похибки дискретизації, а останні три призводять до того, що спектральна густина потужності зосереджених за частотою паразитних спектральних складових розподіляється більш рівномірно, наближається до рівня шумових складових. Тобто, архітектура стандартного прямого цифрового синтезатора частоти наведено у роботі [7], має великий обсяг ПЗП і ЦАП із високим розрізненням необхідні для спектральної чистоти вихідного гармонічного сигналу. Однак великий ПЗП автоматично призводить до високого енергоспоживання, низької надійності, зниженню часу доступу та збільшення площі синтезатора. Спроби зменшення обсягу ПЗП із застосуванням різноманітних методів стиснення: метод Ніколаса [8], метод CORDIC [9], метод представлення рядами Тейлора [10] досягли зменшення розміру ПЗП у деяких випадках до 30 разів. Однак у всіх цих методах необхідне застосування цифрових суматорів або інших більш складних функціональних блоків, і в результаті зменшення розміру ПЗП із застосуванням цих методів не призводить до кардинального зменшення загальної потужності, яку споживає синтезатор. У роботі [11] було запропоновано новий підхід (рис. 1).

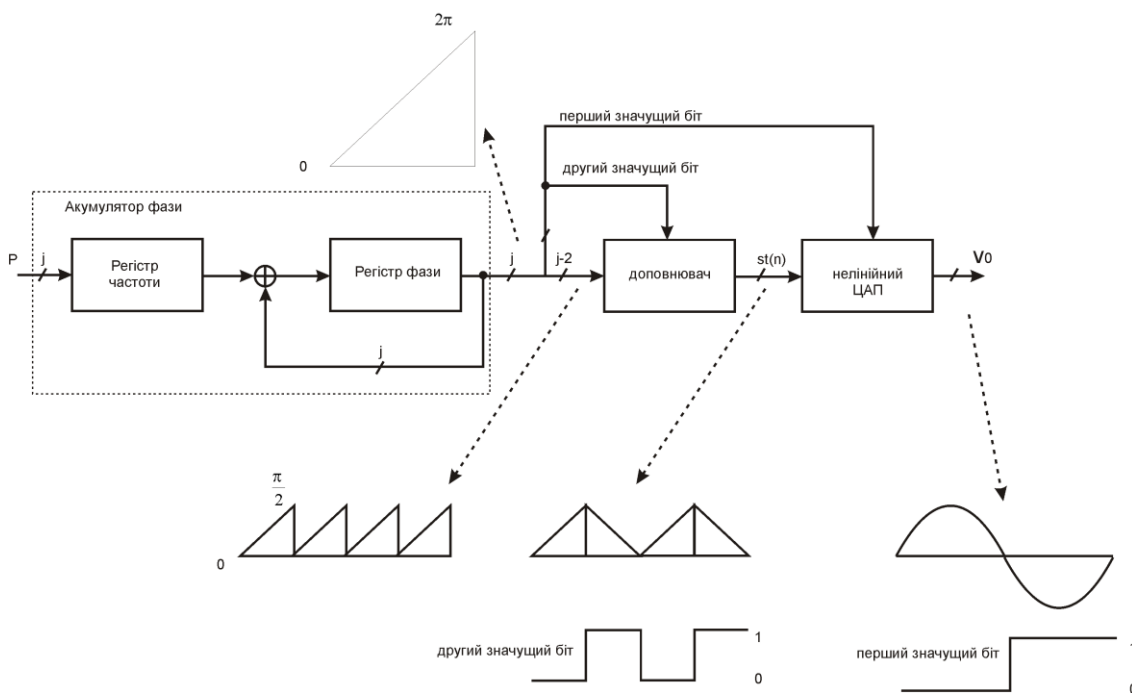


Рис. 1. Пропонована архітектура DDS із застосуванням нелінійного ЦАП

У цій архітектурі нелінійний ЦАП займає місце ПЗП та лінійного ЦАП. Нелінійний ЦАП перетворює цифрову інформацію про фазу сигналу із фазового акумулятора напряму у гармонічний вихідний сигнал. Якщо пропонується структура вимагає тієї ж кількості вхідних біт даних та тієї ж самої кількості біт розрізнення амплітуди, як і класичний DDS, то точність пропонованої архітектури буде ідентична стандартному синтезатору із тими самими параметрами. Головною перевагою пропонованої архітектури є те що непотрібно використовувати ПЗП. Таким чином енергоспоживання пропонованого синтезатора буде менше ніж у класичного DDS, якщо нелінійний ЦАП буде споживати порівняну потужність до лінійного ЦАП.

Метод проектування нелінійного ЦАП запропоновано у роботі [11]. Відповідно до рис. 1, вихід нелінійного ЦАП  $V_0$  – це функція виходу доповнювача  $st(n)$  і першого значущого біту виходу акумулятора фази  $j$ . Будемо вважати, що максимальне значення вихідного гармонічного сигналу дорівнює  $2^i - 1$ , де  $i$  визначає кількість біт розрізнення амплітуди гармонічного сигналу. Тоді ідеальний вихідний сигнал  $V_0$  можна представити як:

$$V_0 = \begin{cases} (2^i - 1) \sin\left(\frac{st(n)}{2^j - 1}\right), & \text{коли MSB} = 0 \\ -(2^i - 1) \sin\left(\frac{st(n)}{2^j - 1}\right), & \text{коли MSB} = 1 \end{cases}, \quad (1)$$

де  $0 \leq st(n) \leq 2^{j-2} - 1$ . Ціле число  $j$  дорівнює кількості старших біт із виходу фазового акумулятора, які використовуються, як вхідні біти нелінійного ЦАП. Значення  $j$  може бути рівне або менше ніж загальна кількість біт виходу фазового акумулятора. Для практичної реалізації нелінійного ЦАП використаємо  $2^{j-2}$  ЦАП комірок. Для  $k$  комірок ЦАП, де  $k = 0, \dots, 2^{j-2} - 1$ , де вихід ціле число –  $o_k$ .

Для даного числа  $st(n)$  вихід нелінійного ЦАП  $V_0$  визначається, як сума виходів комірок ЦАП від комірки 0 до комірки  $st(n)$  і може бути записаний як

$$|V_0| = \sum_{k=0}^{st(n)} o_k, \quad (2)$$

де знак числа  $V_0$  залежить від значення старшого біта вихідного фазового слова. Спираючись на (1) та (2) вихідне значення  $k$ -ї комірки ЦАП може бути представлено використовуючи наступні ітеративні операції:

$$o_k = \begin{cases} \left[ (2^i - 1) \sin\left(\frac{0.5}{2^j - 1}\right) \right], & \text{коли } k = 0 \\ \left[ (2^i - 1) \sin\left(\frac{k + 0.5}{2^j - 1}\right) - \sum_{m=0}^{k-1} o_m \right], & \text{коли } 1 \leq k \leq 2^{j-2} - 1 \end{cases}, \quad (3)$$

де квадратні дужки означають операцію заокруглення до найближчого цілого. Значення 0.5 у рівнянні (3) виникає внаслідок застосування молодшого значущого біта для визначення фази і амплітуди в доповнюванні. Процедура знаходження  $o_k$  формує помилки представлення гармонічного сигналу внаслідок процедури округлення до цілого. Однак цілі значення  $o_k$  забезпечують узгодженість між комірками ЦАП, та забезпечують спрощення будови ЦАП. Для ідеального нелінійного ЦАП форма вихідного гармонічного сигналу за точністю представлення буде тотожною до класичного ПЦСЧ із  $i$ -бітним лінійним ЦАП та  $j$ -бітним фазовим акумулятором для ПЗП.

З (3) можна визначити, що мінімальне значення  $o_k$  зазвичай дорівнює нулеві. Однак максимальне значення  $o_k$ ,  $o_{\max}$  залежить від значення  $i$  та  $j$ . Значення  $o_{\max}$  завжди може бути отримане при  $k = 0$ , де нахил функції синус досягає максимального значення при  $(2^i - 1)\pi/2^{j-1}$ . Можна зробити висновок, що  $o_{\max}$  подвоюється коли  $i$  зростає на 1 біт, і зменшується на половину, коли  $j$  зростає на 1 біт. В результаті загальна площа пропонованого DDS на основі нелінійного ЦАП зростає незначним чином із зростанням розміру фазового слова. Тоді як у класичному DDS на основі ПЗП зростання фазового слова на 1 біт призводить до подвійного зростання обсягу ПЗП, а отже енергоспоживання та займаної площі.

Отже запропонована архітектура має значні переваги з точки зору споживаної потужності та площі, що займає синтезатор при високому значення фазового розрізнення, що й вимагається у більшості застосувань.

Базуючись на запропонованому методі, квадратурний DDS на основі нелінійного ЦАП може бути побудований на основі ланцюжків резисторів – так званих перетворювачах Кельвіна [12].

Вхідний сигнал  $st(n)$  та старший значущий біт фазового акумулятора декодується так щоб лише один з перемикачів подільника напруги Кельвіна був комутований, лише один з виходів під'єднався до виходу ЦАП. Значення опору кожної комірки ЦАП пропорційна до  $o_k \cdot R$ , а загальний опір усієї лінійки резисторів

пропорційний до  $2^{i+1} \cdot R$ , де  $R$  – опір одиничного резистора. Отже вихідна напруга нелінійного ЦАП може бути записана як

$$V_0 = \begin{cases} \frac{V_{ref}}{2^i R} \sum_{k=0}^{st(n)} o_k R, & \text{коли MSB} = 0 \\ -\frac{V_{ref}}{2^i R} \sum_{k=0}^{st(n)} o_k R, & \text{коли MSB} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Завдання побудови нелінійного ЦАП для DDS вирішується шляхом застосування атенюатора-подільника, який полягає у використанні кодокерованої комутації точок проміжних з'єднань лінійки  $N$  послідовно з'єднаних резисторів однакового номіналу, в якій на верхній (крайній вивід лінійки резисторів) подається вхідна напруга, а нижній (крайній вивід лінійки резисторів) підключено до спільного виводу атенюатора-подільника (подільника Кельвіна), відрізняється тим що, для збільшення кількості квантованих точок вихідних значень шкали атенюатора-подільника, до значень більших за  $N$  (подільника Кельвіна), вхідний сигнал кодокеровано подається на виводи (точки з'єднання) починаючи з верхньої  $N$  і наступних вниз до  $N/2$ , при цьому комутація вхідної напруги на верхній вивід  $N$  реалізує класичну шкалу перетворення із  $N$  значеннями, а використовуючи наступні проміжні точки  $N - 1$  і до  $N/2$  отримуємо, окрім наявних  $N$ , ще додаткові квантовані значення шкали перетворення [13, 14].

Робота методу полягає в послідовній комутації стану атенюатора-подільника згідно послідовних значень шкали перетворення яку забезпечують вхідний і вихідний комутатори, згідно заданого алгоритму режиму комутації. Для порівняння проведемо розрахунки кількості квантованих значень шкали перетворення для класичних схем подільника Кельвіна і атенюатора-подільника, для типових значень кількості резисторів (однакової для обох схем). В таблиці 1 наведено типові значення параметрів АП Кельвіна і АПТ та їх порівняльні співвідношення [13, 14].

Таблиця 1

**Порівняльні характеристики АПТ і АП Кельвіна**

Кількість резисторів NR (N АП Кельвіна)	2	4	8	16	32
Кількість квантових точок шкали АПТ	2	6	22	80	324
Приріст квантових значень $\Delta N$	0	2	14	64	292
Виграш	1	1,5	2,75	5	10,125

Пропонується збільшити роздільну здатності (кількість квантованих значень шкали перетворення) і розширити функціональні можливості нелінійного ЦАП шляхом застосування атенюатора-подільника шкала перетворення якого має форму наближену до гармонічної. Якщо ж для проєктованого DDS вимагається високе розрізнення за амплітудою, тоді використовуються довгі ланки резисторів, що призводить до неоднакової постійної часу  $\tau = RC$  на різних ділянках подільника Кельвіна. Це призводить до виникнення гармонічних спотворень вихідного синтезованого сигналу, застосування АПТ подільника нівелює цю проблему, за рахунок використання паралельних ланок резисторів, а вибір точних коефіцієнтів перетворення дає можливість боротися із гармонічними та амплітудними спотвореннями синтезованого сигналу. Для перевірки пропонованого методу у системі Proteus 7 Professional було розроблено прототип квадратурного DDS, що складається із 16-бітного фазового акумулятора на основі суматора Галуа і двох нелінійних ЦАП із 11-бітною розрядністю. Прототип розроблено для виготовлення у 1,2 мкм КМОП технологічному процесі. Прототип має 10-бітне розрізнення за частотою. Прототип має площу  $1,7 \times 1,7 \text{ мм}^2$  тактову частоту 25 МГц, і швидкість перемикання між частотами 40 нс, розсіювана потужність за результатами моделювання складає 4 мВт при значенні опорної напруги 3,3 В. За тієї ж самої опорної частоти класичний DDS має розсіювану потужність 30–40 мВт. Структура квадратурного DDS, тому запропонували структури квадратурного DDS, що використовує нелінійний ЦАП.

### Висновки

Запропоновано метод синтезу DDS на основі нелінійного ЦАП замість ПЗП із відліками гармонічної функції, що дало можливість створення DDS із значно меншим енергоспоживанням ніж у класичного DDS. Потрібну точність вдалося досягти за рахунок використання нового підходу до побудови подільника ЦАП не на основі подільника Кельвіна, а на основі структури атенюатора-подільника із паралельними ланками резисторів ЦАП. Розроблено структуру квадратурного DDS, що використовує нелінійний ЦАП. Для перевірки пропонованого методу у системі Proteus 7 Professional було розроблено прототип квадратурного DDS, що складається із 16-бітного фазового акумулятора на основі суматора Галуа і двох нелінійних ЦАП із 11-бітною розрядністю (див. рис. 2). Прототип розроблено для виготовлення у 1,2 мкм КМОП технологічному процесі. Прототип має 10-бітне розрізнення за частотою. Прототип має площу  $1,7 \times 1,7 \text{ мм}^2$ , тактову частоту 25 МГц, швидкість перемикання між частотами – 40 нс. Питома потужність за результатами моделювання складає 4 мВт при значенні опорної напруги 3,3 В. За тієї самої опорної частоти класичний DDS має питому потужність 30–40 мВт.



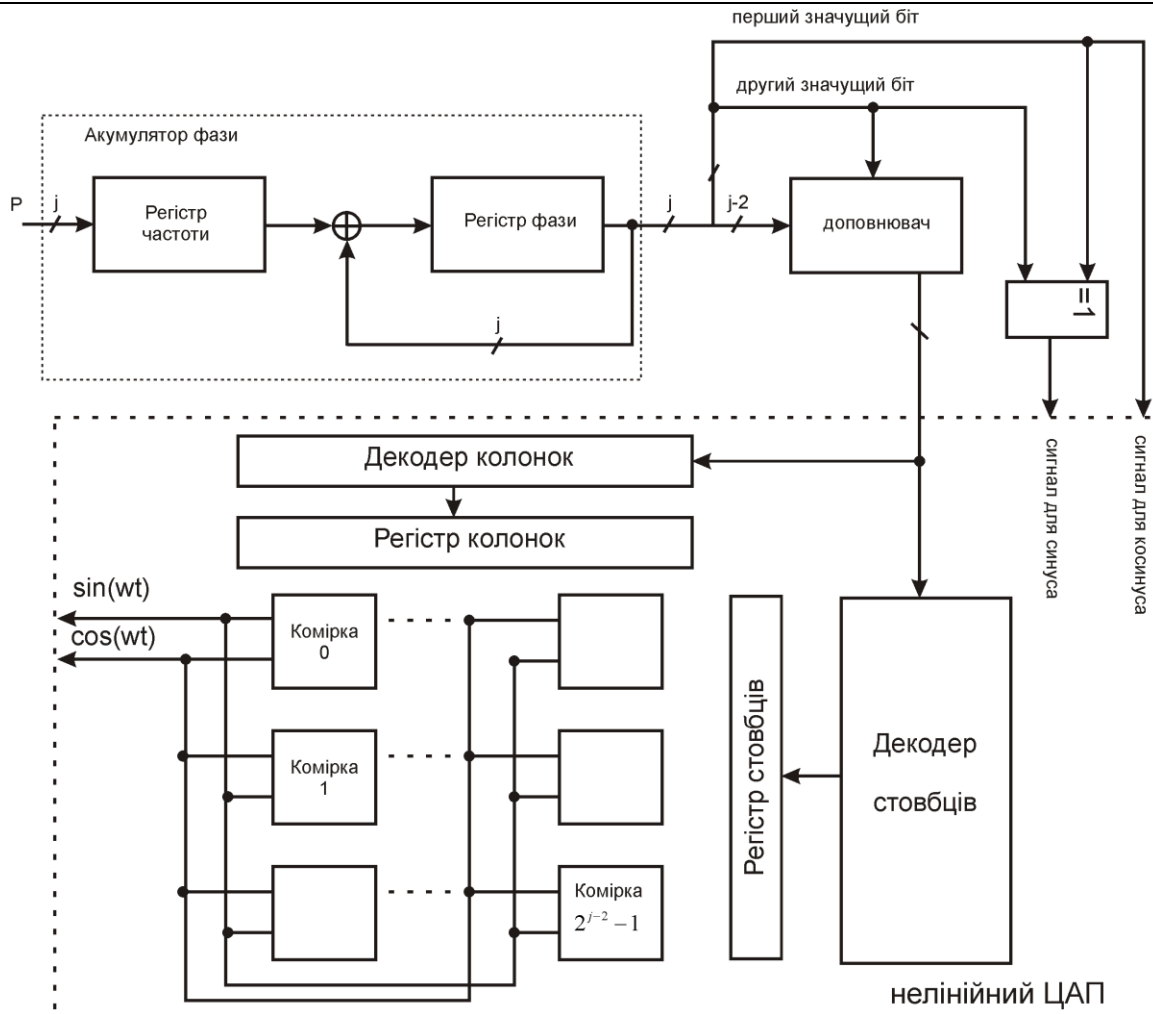


Рис. 2. Структура квадратурного DDS, що використовує нелінійний ЦАП

## Література

1. Полікаровських О.І. Методи перетворення фаза-амплітуда у цифрових обчислювальних синтезаторах / О.І. Полікаровських, І.А. Мостовіюк // Матеріали 9-ї міжнародної молодіжної науково-технічної конференції Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2013». – м. Севастополь, 2013. – С.41–42.
2. Cordesses L. Direct Digital Synthesis: A Tool for Periodic Wave Generation (Part 1) / Cordesses L. // IEEE Signal processing magazine. – P.49–54.
3. Полікаровських О.І. Методи формування квазігармонічних сигналів з дворівневих у цифрових синтезаторах частоти / О.І. Полікаровських, І.В. Троцишин // Вісник вінницького політехнічного університету. – №1. – 2005.
4. Byung-Do Yang An 800-MHz Low-Power Direct digital Frequency synthesizer With an On-Chip D/A converter / Byung-Do Yang, Jang-Hong Choi, Seon-Ho Han // IEEE Journal of solid-state circuits. – 2004. – V.39. – № 5.
5. De Caro D. High performance direct digital frequency synthesizers in 0.25  $\mu\text{m}$  CMOS using dual-slope approximation / De Caro D., Strollo A. G. M. // IEEE Journal Solid-State Circuits. – V. 40. – №11. – P. 2220–2227.
6. Сиберт У.М. Цепи, сигнали, системи. В 2-х ч. Ч. 1. – М.: Мир, 1988. – 336с.
7. Sodagar A.M. A pipelined ROM-less architecture for sine-output directdigital frequency synthesizers using the second-order parabolic approximation. / Sodagar A.M., Lahiji G.R. // IEEE Transaction on Circuits and Systems II. – V. 48. – № 9. – P. 850–857.
8. Nicholas H.T. The Determination of the Output Spectrum of Direct Digital Frequency Synthesizers in the Presence of Phase Accumulator Truncation. / Nicholas H.T. // Thesis Masters of Science in Electrical Engineering. UCLA. – 1985.
9. Wallace C. S. A suggestion for a fast multiplier / Wallace C. S // IEEE Trans. Computers. – 1964. – V. EC-13. – pp. 14–17.
10. Schiffer J. EW Systems Synthesizers Find a New Design Approach. / Schiffer J. // MSN. – 1981.
11. Symmetricom [Електронний ресурс]. // Datasheet Quantum SA.45s CSAC Chip Scale Atomic Clock. – Режим доступу: <http://www.symmetricom.com/resources/download-library/documents/datasheets/quantum-sa45s-csac/>

12. Kalle Palomaki. A Digital Sinusoidal Signal Synthesizer Based on Feedback. / Kalle Palomaki // Tampere university of technology. – 1999.
13. Хармут Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и связи: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985.
14. Троцишин І.В. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів.– Хмельницький : ПП Ковальський В.В., 2002. – 382 с.

## References

1. Polikarovskiykh O.I Metody peretvorennia faza–amplituda u tsyfrovyykh obchysliuvalnykh synteziatorakh / O.I. Polikarovskiykh, I.A. Mostoviuk // Materialy 9–oi mizhnarodnoi molodizhnoi naukovo–tekhnichnoi konferentsii Suchasni problemy radiotekhniki ta telekomunikatsii «RT–2013». – m. Sevastopol, 2013.– S.41–42.
2. Cordesses L. Direct Digital Synthesis: A Tool for Periodic Wave Generation (Part 1) / Cordesses L. // IEEE Signal processing magazine. – P.49–54.
3. Polikarovskiykh O.I. Metody formuvannia kvaziharmonichnykh syhnaliv z dvorivnevyykh u tsyfrovyykh synteziatorakh chastoty / O.I. Polikarovskiykh, I.V. Trotsyshyn // Visnyk vinnitskoho politekhnichnoho universytetu.–#1.–2005.
4. Byung–Do Yang An 800–MHz Low–Power Direct digital Frequency synthesizer With an On–Chip D/A converter / Byung–Do Yang, Jang–Hong Choi, Seon–Ho Han // IEEE Journal of solid–state circuits. – 2004. – V.39. –#5.
5. De Caro D. High performance direct digital frequency synthesizers in 0.25  $\mu\text{m}$  CMOS using dual–slope approximation / De Caro D., Strollo A. G. M. // IEEE Journal Solid–State Circuits. – V. 40. – #11. – P. 2220–2227.
6. Sybert U.M. Tsepy, syhnalny, systemy. V 2–kh ch.Ch.1.– М.:Myr, 1988.– 336s.
7. Sodagar A.M. A pipelined ROM–less architecture for sine–output directdigital frequency synthesizers using the second–order parabolic approximation. / Sodagar A.M., Lahiji G.R. // IEEE Transaction on Circuits and Systems II. – V. 48. – #9. – P. 850–857.
8. Nicholas H.T. The Determination of the Output Spectrum of Direct Digital Frequency Synthesizers in the Presence of Phase Accumulator Truncation. / Nicholas H.T. // Thesis Masters of Science in Electrical Engineering. UCLA. – 1985.
9. Wallace C. S. A suggestion for a fast multiplier / Wallace C. S // IEEE Trans. Computers. – 1964. – V. EC–13. – pp. 14–17.
10. Schiffer J. EW Systems Synthesizers Find a New Design Approach. / Schiffer J. // MSN. – 1981.
11. Symmetricom [Elektronnyi resurs]. // Datasheet Quantum SA.45s CSAC Chip Scale Atomic Clock. – Rezhym dostupu do zhurn. : <http://www.symmetricom.com/resources/download-library/documents/datasheets/quantum-sa45s-csac/>
12. Kalle Palomaki. A Digital Sinusoidal Signal Synthesizer Based on Feedback. / Kalle Palomaki // Tampere university of technology. – 1999.
13. Kharmut Kh.F. Nesynusoidalnye volny v radyolokatsyy i svyazy: per. s anhl.– М.: Radyo i svyaz, 1985.
14. Trotsyshyn I.V., Vymirivannia ta peretvorennia fazochastotnykh parametriv radiosyhnaliv.– Khmelnytskyi:PP Kovalskyi V.V., 2002. – 382 s.

Рецензія/Peer review : 21.09.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.

## СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ПОБУТОВИМ ЕЛЕКТРОБОЙЛЕРОМ

*Статтю присвячено розробці системи дистанційного керування та моніторингу показників роботи побутового електробойлера. Реалізовано спосіб зв'язку через мережу Internet з використанням WEB інтерфейсу для роботи користувача. Експериментальне дослідження режимів роботи системи керування відбувалося на лабораторному стенді, виготовленому на базі мікроконтролера Arduino. Описані основні характеристики і вибір складових частин системи дистанційного керування та моніторингу. Наведений алгоритм роботи програмного скетчу. Розроблений програмний код для реалізації дистанційного керування приладом. Обраний мікроконтролер дозволяє реалізувати більшість функцій системи керування, необхідних для забезпечення заданих режимів роботи і експлуатаційних показників електробойлера. Дистанційне керування і моніторинг стану електробойлера дозволяють реалізувати режими роботи, які забезпечують економію електроенергії і підвищення безпеки в процесі його експлуатації.*

*Ключові слова: електробойлер, дистанційне керування, WEB сторінка, Arduino, Ethernet SHIELD.*

S.G. NATROSHVILI, B.M. ZLOTENKO, T.I. KULIK

Kyiv National University of Technologies and Design

## SYSTEM OF REMOTE CONTROL OF THE HOUSEHOLD ELECTRIC BOILER

*The article is devoted to the development of a remote control system and monitoring of the performance of a household electric boiler. The aim of the study is to create an accessible and convenient user interface for controlling the device. Theoretical studies in the creation of algorithms for the operation of the device are based on determining the possibilities of controlling its systems via the Internet using the WEB interface. The principle of remote control of a domestic water heater consists in installation in the electric circuit of a boiler of the Arduino Mega microcontroller which works with the Ethernet SHIELD module. A method of communication via the Internet using the WEB interface for user operation is developed and implemented. A laboratory stand model was created to demonstrate the operation of the device and its remote control. Experimental study of the modes of operation of the control system is performed using the laboratory stand made based on an Arduino microcontroller. The main characteristics and selection of components of the remote control and monitoring system are described. The algorithm of the program sketch is given. A program code for the implementation of remote control of the device is developed. The program code after the compilation operation is loaded into the microcontroller and the system begins to process the data received from the sensors. The program code of the sketch contains the parameters of the WEB page from which the device is controlled. Necessary data for the user are transferred to the WEB interface generated according to the program code. To view and work with the remote control interface, you must enter the IP address of the WEB server in the Internet browser column. All information from the controller enters the Ethernet SHIELD, which encodes it into a code understandable to the router. The program code on the controller specifies the parameters of the WEB page according to which it is generated for the user by the browser. From the WEB page, information can be viewed, corrected and referenced to the system controller. The selected microcontroller allows implementing most of the functions of the control system required to ensure the required operating modes and performance characteristics of the boiler. Remote control and monitoring of the household electric boiler allow implementing operating modes that provide energy savings and increase safety during its operation.*

*Keywords: electric boiler, remote control, WEB page, Arduino, Ethernet SHIELD.*

### Вступ

У наш час в побуті й на виробництві широко використовуються електробойлери для нагрівання води в умовах відсутності гарячого водопостачання або в періоди планових чи аварійних відключень централізованих мереж у зв'язку з ремонтними роботами та технічним обслуговуванням [1].

### Постановка задачі

З метою створення умов для економії електроенергії при експлуатації побутового електробойлера було поставлено завдання розробити систему дистанційного керування електробойлером і моніторингу показників його роботи. Система має бути доступною у використанні і розширювати функціональні показники порівняно з існуючими моделями на ринку [2].

### Результати дослідження

Для вибору методу організації каналу зв'язку користувача і пристрою проводились дослідження методів реалізації дистанційного зв'язку і керування в охоронній та пожежній сигналізації. З практичного досвіду роботи з різними системами та протоколами їх роботи, тобто способами сполучення підохоронного об'єкту та пульта централізованого нагляду за ним охоронної сигналізації, був розроблений спосіб зв'язку через мережу Internet з використанням WEB-інтерфейсу.

Даний вибір зумовлений відсутністю в необхідності придбання коштовного обладнання для зв'язку з приладом при використанні GSM та GPRS сигналів. Всі вище перелічені методи потребують для реалізації значних грошових інвестицій, і супроводжуються проблемами з їх використанням в різних умовах. При такому способі необхідний мікроконтролер для організації діалогу відповідно до запрограмованих алгоритмів роботи. Метод керування через WEB інтерфейс [3] значно дешевший, простіший у виконанні і

не потребує дорогого маніпулятора для роботи з пристроєм. Телефон чи планшет може служити засобом керування.

Принцип дистанційного керування побутовим водонагрівачем полягає у встановленні в електричну схему бойлера мікроконтролера Arduino Mega, який працює з модулем Ethernet SHIELD. Принциповий макет з'єднання складових частин зображений на схемі (рис. 1).

Основний елемент схеми – мікроконтролер Arduino Mega 2560, який відповідно до запрограмованого алгоритму опрацьовує отримані дані від датчиків і реагує на команди користувача [4]. Мікроконтролер Arduino Mega живиться від джерела постійного струму, напругою в 7 В, до 1 А [5, 6]. Складові схеми для зручності зібрані на макетній платі.

Для вимірювання температури були обрані два цифрові датчики моделі DS18B20 з різним ступенем захисту. Перший у захищеному виконанні для вимірювання температури води. Другий для вимірювання температури повітря в корпусі приладу. Цей датчик температури розроблений на популярній мікросхемі DS18B20. Він дозволяє визначити температуру навколишнього середовища в діапазоні від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  і отримувати дані в вигляді цифрового сигналу з 12-бітовим дозволом по 1-Wire протоколу.

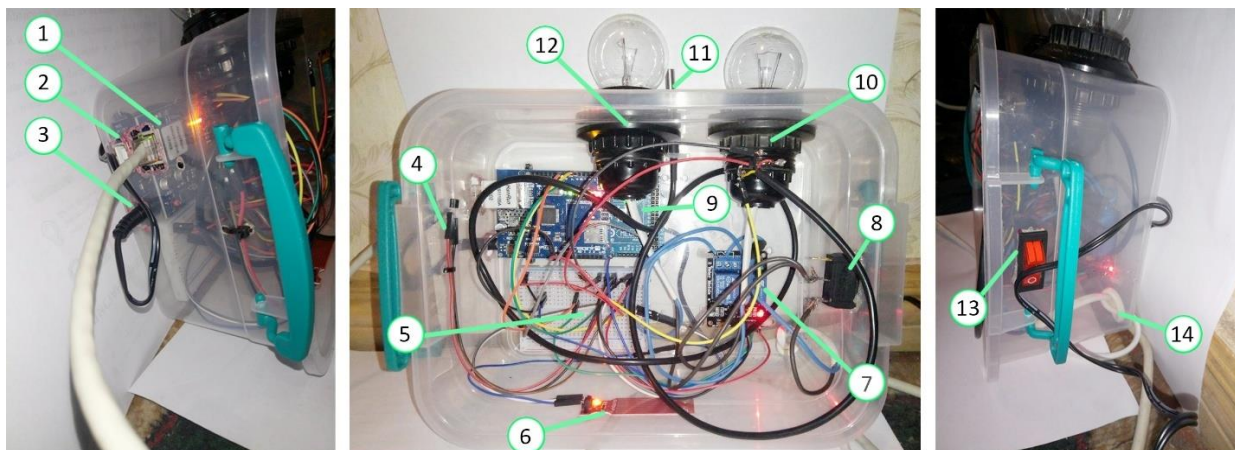
Для забезпечення захисту від затоплення в схему було введено датчик затоплення Water Sensor від компанії Funduino. Аналоговий датчик можна застосовувати в системах розумного будинку для визначення протікання в будинку або квартирі. Датчик також можна використовувати для визначення рівня води в невеликому діапазоні глибин. Прилад працює на напрузі у 3–5 В постійного струму. Робочий струм 20 мА, малий розмір і аналоговий режим роботи повністю задовольняють потреби схеми.

Для управління нагрівальним елементом необхідні силові реле. В цій схемі було вирішено використати двоканальний релейний модуль для підключення безпосередньо до дискретного виходу контролера. На платі передбачена індикація наявності напруги живлення і окремо керуючого сигналу в 5 В. Максимальний струм комутованого навантаження 10 А. У всіх подібних модулів зворотна логіка управління спрацьовуванням реле. При подачі низького рівня сигналу реле спрацьовує, а при подачі високого рівня реле вимикається.

Щоб уникнути небажаних спрацьовувань реле під час включення живлення системи, рекомендується на Arduino не підключати 13-й дискретний канал на управління модулем. На інших платформах слід в ініціалізацій частини програми привласнити всім дискретним виходам, керуючим подібними реле значення високого рівня сигналу (HIGH).



**Рис. 1. Схематичне зображення елементів системи дистанційного керування бойлером:**  
 1 – бойлер; 2 – подвійне силове реле; 3 – електричний кран;  
 4 – мікроконтролер ArduinoMega; 5 – EthernetShield;  
 6 – роутер; 7 – прилади керування; 8 – датчик температури повітря;  
 9 – датчик вологоти; 10 – датчик температури води в баку

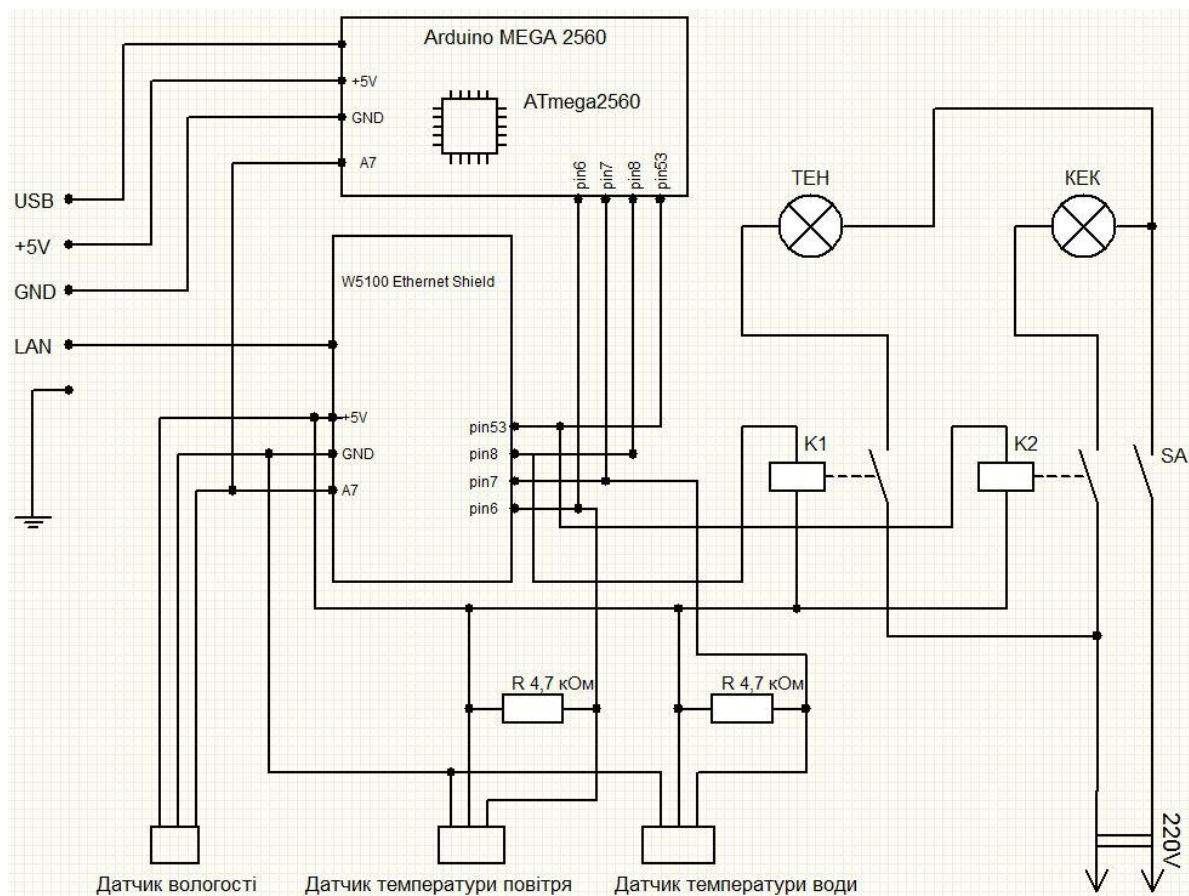


**Рис. 2. Стенд дистанційного керування:**  
 1 – LAN-кабель; 2 – USB порт; 3 – живлення контролера; 4 – датчик температури корпусу;  
 5 – макетна плата; 6 – датчик вологості; 7 – релейний модуль; 8 – кнопка вимкнення ламп розжарювання;  
 9 – мікроконтролер Arduino, з'єднаний з Ethernet Shield; 10 – лампа індикації (КЕК); 11 – датчик вимірювання температури води;  
 12 – лампа індикації (ТЕН); 13 – кнопка вимкнення напруги на лампи; 14 – провід підключення до 220В

В схемі реле виконує функцію комутації напруги на нагрівальному елементі і подачі сигналу управління на електричний кран. Кульковий електричний кран – КЕК – приєднаний до релейного модуля. У випадку спрацювання датчика води, мікроконтролер подає сигнал на релейний модуль, а той перекидає подачу води. Це зроблено для підвищення безпеки. Робота крану залежить від алгоритму роботи контролера, але завдяки конструкції у разі необхідності є можливість перекриття незалежно від системи, шляхом натискання кнопки на корпусі пристрою. Кран з електроприводом призначений для блокування водопостачання в разі протікання води на датчик вологоти в корпусі системи. Стабілізована швидкість спрацювання кранів запобігає можливим гідроударам. У режимі очікування споживання енергії складає 3 Вт, а в момент закривання (відкривання) 12 Вт. Особливість даного крану в можливості ручного управління, якщо відсутня електроенергія.

З метою дослідження режимів роботи розробленої системи керування електробойлером було змонтовано лабораторний стенд (рис. 2). Роботу кулькового крану і електричного нагрівального елементу бойлера імітують лампи розжарювання.

Принципова електрична схема лабораторного стенда для дослідження роботи системи керування електробойлером наведена на рис. 3.



**Рис. 3. Принципова електрична схема лабораторного стенда:**  
**Arduino MEGA 2560** – мікроконтролер; **K1, K2** – електромагнітні реле; **R** – резистори;  
**W5100** – Ethernet Shield; **TEH, KEK** – лампи розжарювання; **SA** – тактовий перемикач

Програмування контролера виконувалось на персональному комп'ютері за допомогою програмного забезпечення. Для початку програмування з офіційного сайту виробника мікроконтролера [7] була завантажена програма Arduino IDE. Програмування проводилось на базі операційної системи Windows, і для роботи контролера були встановлені необхідні драйвери. Після перевірки підключення плати, відкривши програмне середовище, були підключені бібліотеки для роботи компонентів схеми.

На основі поставлених завдань створений графічний алгоритм роботи програми (рис. 4), за яким написаний програмний скетч для мікроконтролера.

З використанням графічного алгоритму роботи системи в програмному середовищі Arduino в текстовому вигляді написаний програмний код системи дистанційного керування [8].

Надрукований програмний код після проведення операції компіляції завантажується у мікроконтролер і система починає опрацьовувати отримані від датчиків дані. В програмному коді скетчу прописані параметри WEB сторінки з якої відбувається керування приладом. Необхідні дані для користувача виводяться на WEB інтерфейс сформований за даними програмного коду. Для перегляду і роботи з інтерфейсом дистанційного керування необхідно ввести в колонку інтернет браузера IP адресу WEB серверу.

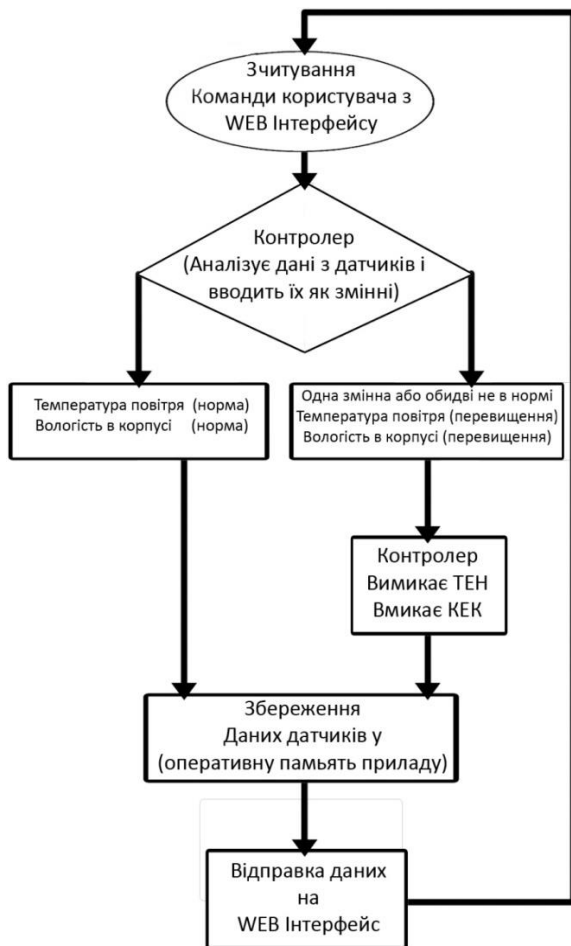


Рис. 4. Графічний алгоритм роботи схеми дистанційного керування

Вся інформація з контролера потрапляє в Ethernet SHIELD, який кодує її на зрозумілий для маршрутизатора код. В програмному коді на контролері вказані параметри WEB сторінки (рис. 5), за якими її для користувача формує браузер. З WEB сторінки інформація може переглядатись за допомогою пристроїв перегляду користувачем, корегуватись і посилатись на контролер системи.

Таким чином реалізований дистанційний діалог між користувачем і контролером. Для відображення створеного WEB-інтерфейсу у адресну колонку браузера необхідно ввести виділену на маршрутизаторі статичну IP адресу.

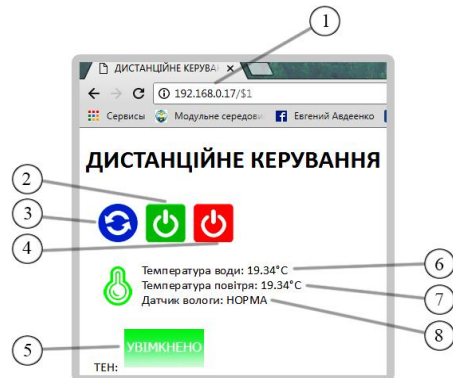


Рис. 5. WEB-інтерфейс керування бойлером:

- 1 – адресна колонка браузера;
- 2 – кнопка увімкнення нагрівального елемента;
- 3 – кнопка перезавантаження WEB-сторінки;
- 4 – кнопка вимкнення нагрівального елемента;
- 5 – індикатор стану нагрівального елемента; 6 – показники температури води в баку; 7 – показники температури повітря в приміщенні; 8 – стан датчика вологості в корпусі

На рис. 6 показані основні режими роботи системи керування електробойлером за допомогою лабораторного стенда. Датчик вимірювання температури повітря в приміщенні надає інформацію про температуру навколишнього середовища на WEB інтерфейс. У разі збільшення температури вище ніж запрограмована реагує, як на пожежу в приміщенні. Вимикає ТЕН приладу и перекриває кульковий кран на подачу води до приладу, чим забезпечує додатковий захист від ураження електричним струмом і поширення пожежі. Запрограмована температура спрацювання алгоритму роботи 25 градусів Цельсія.

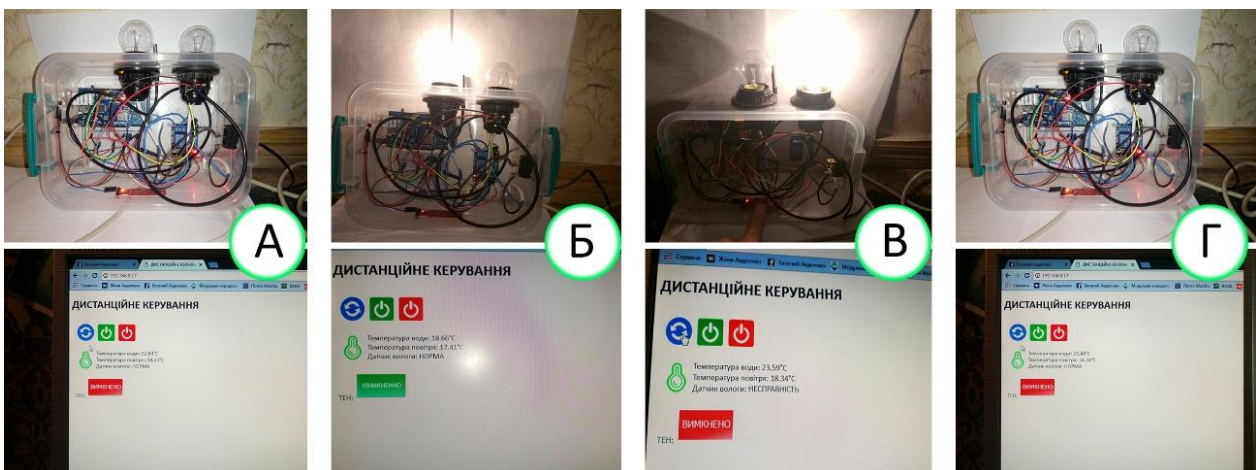


Рис. 6. Робота інтерфейсу відповідно роботі приладу

- А) ТЕН вимкнено; Б) ТЕН увімкнено; В) датчик вологості спрацював; Г) перевищення температури корпусу

Датчик вимірювання температури води надає інформацію про температуру води в баку приладу для користувача. Обидва датчики виводять свої показники на інтерфейс користувача, що дає змогу оцінити стан роботи приладу.

До схеми підключений датчик вологості. Він встановлений в нижній частині стенду. Його функція полягає в передачі на інтерфейс керування інформації про наявність води в корпусі приладу. На WEB

сторінку від контролера посилається повідомлення у вигляді тексту «НОРМА» у випадку рівня вологості в межах нормальної роботи, або «НЕСПРАВНІСТЬ», якщо датчик зафіксував надмірну вологість. При отриманні тексту «НЕСПРАВНІСТЬ» прилад виконує автоматичний алгоритм відключення ТЕНу і вмикає привід перекриття мережі водопостачання. Слід зазначити, що доки датчик показує «НЕСПРАВНІСТЬ» ТЕН приладу не буде реагувати на команду WEB інтерфейсу на увімкнення. Коли показник вологості відновиться до нормального рівня, ТЕН знову почне реагувати на команди інтерфейсу. Це зроблено для підвищення безпеки користувача.

Плата з двома реле керується алгоритмом контролера, і в залежності від ситуації проаналізованої контролером проводить комутує свої силові контакти. В мікроконтролер Arduino завантажений скетч з програмою роботи реле відносно показників отриманих від датчиків. Ці операції виконуються і без участі користувача для забезпечення більшої безпеки при використанні приладу. За станом реле можна стежити з інтерфейсу користувача. При увімкненому ТЕНі на екрані відображається зображення з написом «ТЕН УВІМКНЕНО». При цьому на кульковий електричний кран напруга не подається. Спрацювання захисту від затоплення автоматично вимкне подачу напруги на ТЕН і подасть її на кульковий електричний кран.

Стенова модель системи працює на виділеній статичній адресі в маршрутизаторі. Для роботи через мережу інтернет необхідна виділена статична IP адреса. Це дасть змогу розміщення інтерфейсу керування на хостингу з обмеженим доступом для персоналізації роботи з системою.

### Висновки

Розроблений спосіб зв'язку через мережу Internet з використанням WEB інтерфейсу на базі мікроконтролера Arduino ATmega 2560. Створений працюючий стенд для демонстрації роботи дистанційного керування. Описані основні характеристики і вибір складових частин системи. Наведений алгоритм роботи програмного скетчу. Розроблений програмний код для реалізації дистанційного керування приладом. Сторінка керування виводить необхідну інформацію на монітор користувача, всі файли сторінки знаходяться в мережі Internet, програмні операції пов'язані з прийняттям рішення відносно змінних знаходяться в мікроконтролері і за відсутності контролю користувача буде проводитись автоматично. Обраний мікроконтролер дозволяє реалізувати більшість потреб необхідних для тих чи інших умов роботи, що робить систему здатною до безперервної модернізації. Дистанційне керування і моніторинг стану електробойлера дозволяють реалізувати режими роботи, які забезпечують економію електроенергії і підвищення безпеки в процесі його експлуатації.

### Література

1. Лир Э.В. Электробытовые машины и приборы / Лир Э. В., Петко И. В. – К. : Техника, 1990. – 207 с.
2. Электробытовая техника : навчальний посібник / упор. : Т. Я. Біла, М. Й. Бондаренко, О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, І. В. Петко. – К. : КНУТД, 2014. – 96 с.
3. Robocraft [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://robocraft.ru>.
4. Boloor A. J. Arduino by Example / Boloor Adith Jagadish. Birmingham (UK): Packt Publishing Ltd, 2015. 222 p.
5. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. – СПб : БХВ-Петербург, 2015. – 488 с.
6. Javed A. Building Arduino Projects for the Internet of Things. Experiments with Real-World Applications. United States of America: Apress Media, LLC, 2016. 244 p.
7. Амперка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://wiki.amperka.ru>.
8. Знакомство с Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://arduino.shopium.ua/pages/arduino-getting-started/#ch3>.

### References

1. Lir E.V. Elektrobytovye mashiny i pribory / Lir E. V., Petko I. V. – K. : Tehnika, 1990. – 207 s.
2. Elektropobutova tekhnika : navchalnyi posibnyk / upor. : T. Ya. Bila, M. Y. Bondarenko, O. P. Burmistenkov, B. M. Zlotenko, I. V. Petko. – K. : KNUUD, 2014. – 96 s.
3. Robocraft [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://robocraft.ru>.
4. Boloor A. J. Arduino by Example / Boloor Adith Jagadish. Birmingham (UK): Packt Publishing Ltd, 2015. 222 p.
5. Petin V. A. Proekty s ispolzovaniem kontrollera Arduino / V. A. Petin. – SPb : BHV-Peterburg, 2015. – 488 s.
6. Javed A. Building Arduino Projects for the Internet of Things. Experiments with Real-World Applications. United States of America: Apress Media, LLC, 2016. 244 p.
7. Amperka [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://wiki.amperka.ru>.
8. Znakomstvo s Arduino [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://arduino.shopium.ua/pages/arduino-getting-started/#ch3>.

Рецензія/Peer review : 17.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 04.11.2020 р.

О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК  
Вінницький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТУНЕЛЬНО-РЕЗОНАНСНОГО ДІОДА

На основі розгляду фізичних процесів у тунельно-резонансному діоді визначено аналітичні формули ємності та індуктивності, які залежать як від технологічних параметрів, так і від режиму роботи. Показано, що ємність діода змінюється від  $1,99 \cdot 10^{-18}$  Ф до  $1,97 \cdot 10^{-18}$  Ф від напруги на спадній ділянці вольт-амперної характеристики, а зміна величини індуктивності в діапазоні від  $0,5 \cdot 10^{-13}$  Гн до  $2,75 \cdot 10^{-13}$  Гн. Індуктивність тунельно-резонансного діода зв'язана з кінцевою швидкістю руху електронів і вона завжди існує в діоді за будь-яких умов. Це пояснюється тим, що напруга на емітері, яка викликала рух електронів через прилад, випереджає струм, тобто струм завжди запізнюється по відношенню до напруги, що еквівалентно індуктивній реакції тунельно-резонансного діода. Власна резонансна частота на ділянці від'ємного диференційного опору змінюється від  $5 \cdot 10^{14}$  Гц до  $3,3 \cdot 10^{14}$  Гц. Резонансно-тунельні діоди можна використовувати як регульовані ємнісні та індуктивні елементи, причому їх добротність можна регулювати за рахунок від'ємного диференційного опору в інтервалах від 100 і більше.

Ключові слова: тунельно-резонансний діод, частота, ємність, індуктивність, від'ємний диференційний опір.

A.V. OSADCHUK, V.S. OSADCHUK, I.A. OSADCHUK  
Vinnytsia National Technical University

## RESEARCH OF REACTIVE PROPERTIES OF TUNNEL RESONANCE DIODES

Based on the physical processes considered in the resonance tunnel diode, analytical formulas for the capacitance and inductance are determined, which depend on both the technological parameters and the operating mode. It is shown that the diode capacitance varies from  $1.99 \cdot 10^{-18}$  F to  $1.97 \cdot 10^{-18}$  F from the voltage in the downstream section of the current-voltage characteristic, and the change in the inductance in the range from  $0.5 \cdot 10^{-13}$  H to  $2.75 \cdot 10^{-13}$  H. The inductance of the tunnel resonance diode is related to the finite velocity of the electrons and it always exists in the diode under any conditions. This is because the voltage at the emitter, which caused the movement of electrons through the device, is ahead of the current, that is, the current is always delayed relative to the voltage, which is equivalent to the inductive reaction of the tunnel resonance diode. The natural resonant frequency in the area of negative differential resistance varies from  $5 \cdot 10^{14}$  Hz to  $3.3 \cdot 10^{14}$  Hz. Resonance tunnelling diodes can be used as adjustable capacitive and inductive elements, and their quality factor can be adjusted due to negative differential resistance in the range of 100 or more.

Keywords: resonance tunnel diode, frequency, capacitance, inductance, negative differential resistance.

### Вступ

Тунелювання носіїв заряду скрізь потенціальний бар'єр відповідає за виникнення від'ємного диференційного опору на спадній ділянці вольт-амперної характеристики. Це явище відкрив японський вчений Л. Есакі у 1957 році при дослідженні високолегованих класичних напівпровідникових діодів. Разом з ученим Тцу, він висловив думку, що такий ефект повинен існувати і в квантових гетероструктурах при рухові електронів перпендикулярно до площини потенціальних бар'єрів, які поділяють квантові гетероструктури [1]. Дійсно у роботах [2, 3] вони першими дослідили від'ємний диференційний опір у наноструктурах AlGaAs/GaAs внаслідок резонансного тунелювання скрізь потенціальні бар'єри. Проте лише на початку 1980-х років вдалося створити високоякісні квантові гетеропереходи, що дало можливість виготовляти тунельно-резонансні діоди. Після цього почалося широке проведення теоретичних і експериментальних досліджень цих приладів. Унікальними властивостями тунельно-резонансних діодів є їх надвисокочастотні властивості разом з від'ємним диференційним опором, що дозволило будувати на їх основі логічні пристрої, прилади пам'яті, перемикачі, резонансні підсилювачі, генератори, сенсори, та багато інших приладів [4–8]. Проте використання їх у якості регульованих надвисокочастотних ємностей і індуктивностей з високим значенням добротності за рахунок компенсації втрат енергії від'ємним диференційним опором до теперішнього часу не повністю розглянуто. Дослідженню цього питання присвячена дана робота.

### Теоретичні і експериментальні дослідження

Дослідження реактивних властивостей резонансно-тунельних діодів потребує знань фізичних процесів, будови самої структури діодів, математичної моделі вольт-амперних характеристик, режимів роботи. Тому попередньо розглянемо ці питання. Теоретичні і експериментальні дослідження тунельно-резонансних діодів розпочалося з розробки математичної моделі вольт-амперної характеристики, виходячи з фізичних процесів тунелювання електронів скрізь потенціальні бар'єри. Розглянемо типову квантову структуру AlAs-GaAs-AlAs, фізичні процеси при перпендикулярному рухові електронів через потенціальні бар'єри і квантову яму на основі енергетичних діаграм зони провідності і валентної зони тунельно-резонансного діода за різних значень прикладеної напруги. Потенціальні бар'єри і квантова яма між ними утворено за рахунок різних значень ширини заборонених зон для напівпровідникових сполук GaAs і AlAs, що приводить до розриву енергетичних рівнів дна зони провідності і стелі валентної зони (рис. 1, а, б) [9].

Прикладання зовнішньої напруги до електродів емітер-колектор квантової гетероструктури призводить до зміни величини електронів, які тунелюють через потенціальні бар'єри і квантову яму, що



приводить до зміни величини струму через структуру. На рис. 2, а надано енергетичну діаграму квантової гетероструктури з подвійним бар'єром без прикладання зовнішньої напруги, коли рівень Фермі в емітерній області знаходиться нижче резонансного рівня  $E_1$  у квантовій ямі, а на рис. 2, б і рис. 2, в надано аналогічну структуру, до якої подано зростаюче за величиною електричне поле. Резонансне тунелювання відбувається при напрузі  $U_1 = 2E_1/q$ , де  $q$  – заряд електрона. При цьому рівень Фермі для металевого емітерного контакту  $E_\phi^E$  зліва збігається з енергетичним рівнем  $E_1$  ями і коефіцієнт тунельного пропускання наближається до одиниці, внаслідок чого струм через структуру різко зростає.

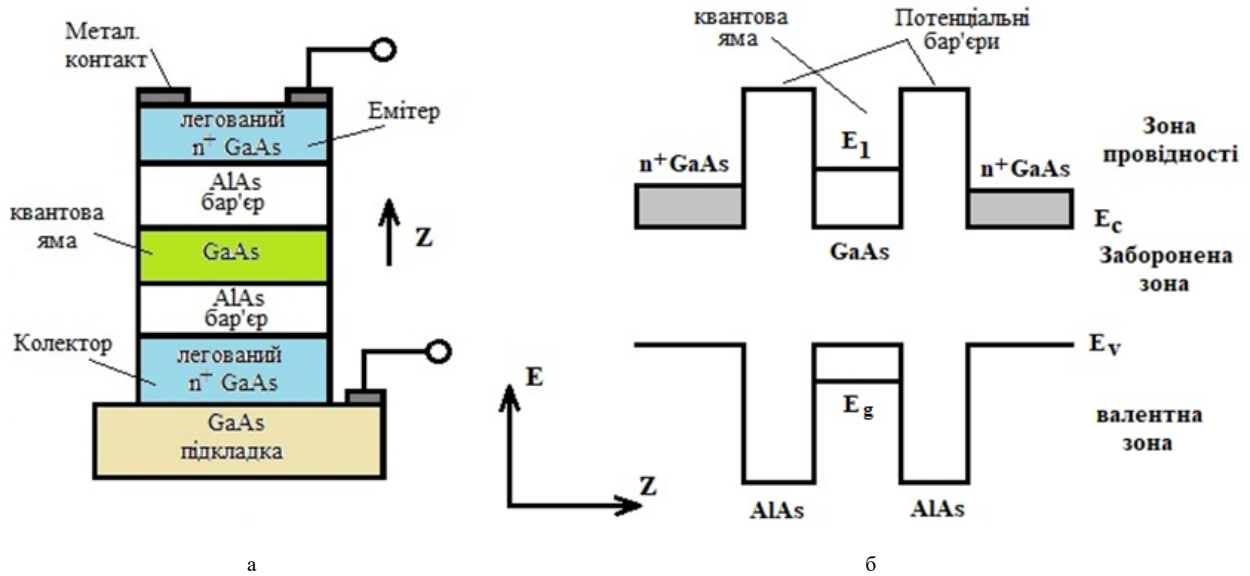


Рис. 1. Квантова гетероструктура AlAs-GaAs-AlAs (а) та її енергетична діаграма зони провідності та валентної зони (б) [9]

Коли величина прикладеного поля стає вище за величину  $2E_1/q$  і рівень Фермі  $E_\phi^E$  перевищує  $E_1$ , струм через структуру зменшується, як показано на рис. 2, в. На рис. 2, г подано вольт-амперну характеристику, на якій існує спадна ділянка, що відповідає існуванню від'ємного диференційного опору. При подальшому зростанні напруги  $U$  бар'єри, які повинні долати електрони, стають меншими за величиною, і струм через квантову структуру повинен знову зростати. Цей якісний опис був експериментально підтверджений дослідженнями Л. Есакі як для діодів, так і для надграток з квантових гетероструктур, які були вирощені методом молекулярно-променевої епітаксії.

Слід зауважити, що рух електронів у квантових ямах обмежено у напрямку координати  $z$ , а в площині  $(x, y)$  вони є вільними і їх поведінка така ж сама, як у твердих тривимірних тілах. У цьому випадку хвильову функцію електрона можна подати у вигляді добутку трьох хвильових функцій по координатах  $x, y, z$  [10]

$$\psi = \psi_x \psi_y \psi_z, \quad (1)$$

де, відповідно до простої моделі квантової ями, функції  $\psi_x$  і  $\psi_y$  є розв'язком рівняння Шредінгера для вільного електрона, тобто описують біжучу хвилю.

В той же час хвильова функція  $\psi_z$  є розв'язком того ж рівняння Шредінгера тільки для електрона у прямокутній потенціальній ямі. Враховуючі вище наведене, повну енергію електрона у квантовій ямі можна описати виразом [10]

$$E(K_x, K_y, n) = \frac{\hbar^2}{2m^*} (K_x^2 + K_y^2) + E_n = \frac{\hbar^2}{2m^*} (K_x^2 + K_y^2) + \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m^* a^2} n^2, \quad n = (1, 2, \dots), \quad (2)$$

де  $K_x, K_y$  – проєкції хвильового вектора електронів на вісі  $x$  і  $y$ ,  $\hbar = h/2\pi$  – стала Планка,  $m^*$  – ефективна маса електрона,  $E_n$  – енергетичні рівні у квантовій ямі,  $a$  – ширина квантової ями,  $n$  – число енергетичних рівнів у квантовій ямі.

Для отримання вольт-амперної характеристики тунельно-резонансного діода використовується рівняння Шредінгера у загальному вигляді [11]:

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{\partial^2 \psi_n}{\partial \vec{r}^2} + U(\vec{r}) \psi_n(\vec{r}) = E(\vec{K}) \psi_n(\vec{r}) - E_n(0) \psi_n(\vec{r}), \quad (3)$$

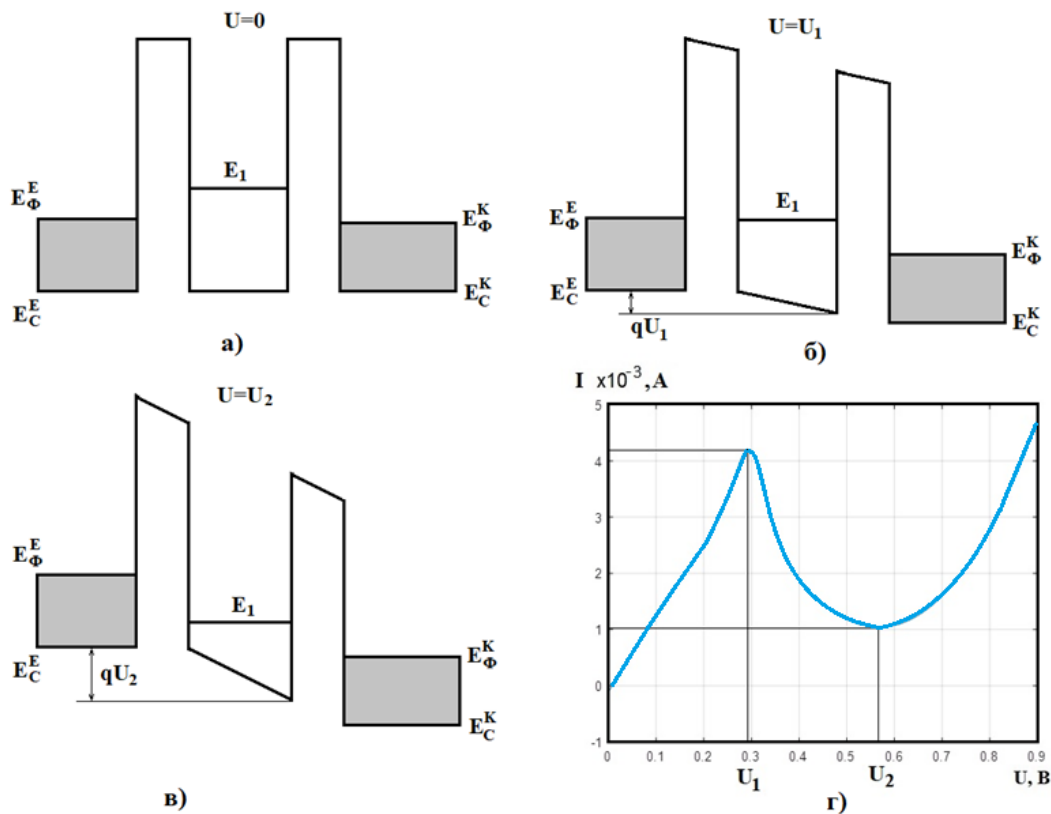


Рис. 2. Зміна енергетичної діаграми зони провідності гетероструктури AlAs-GaAs-AlAs при прикладенні зовнішньої напруги (а), (б), (в) і вольт-амперна характеристика (г) [9]

де  $\psi_n(\vec{r})$  – хвильова функція електрона, яка залежить від радіуса – вектора  $\vec{r}$ , що відповідає електрону з енергією рівня  $n$ ;  $U(\vec{r})$  – потенціальна енергія бар’єрів;  $\vec{K}$  – хвильовий вектор електрона;  $E(\vec{K})$  – енергія електрона;  $E_n(0)$  – енергія електрона у квантовій ямі при  $n=0$ . На основі рівняння (3) отримана функція щільності струму від прикладеної напруги, яка має назву функція Тцу-Есакі [2]

$$J = \frac{qm^*kT}{2\pi^2\hbar^3} \int_{E_C}^{\infty} T(E_Z) \log \left[ \frac{1 + \exp\left(\frac{E_\Phi - E_Z}{kT}\right)}{1 + \exp\left(\frac{E_\Phi - E_Z - qU}{kT}\right)} \right] dE_Z, \quad (4)$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $T$  – абсолютна температура,  $E_\Phi$  – рівень Фермі в зоні провідності емітера,  $U$  – прикладена напруга,  $T(E_Z)$  – коефіцієнт прозорості проходження електронами потенціальних бар’єрів і квантової ями. Для більш точного опису вольт-амперної характеристики необхідно враховувати фононне розсіювання електронів, розсіювання на домішках, розсіювання на границях, розсіювання електронів на сплавах. Найбільш точно описує вольт-амперну характеристику тунельно-резонансних діодів чисельна кінетична модель на базі функцій Гріна [11]. Однією з проблем в розрахунках вольт-амперної характеристики є визначення коефіцієнта прозорості  $T(E_Z)$  двобар’єрної квантової гетероструктури.

Під коефіцієнтом прозорості потенціального бар’єру розуміють відношення щільності потоку електронів, які пройшли через бар’єр до щільності потоку електронів падаючої хвилі, а коефіцієнт відбиття електронів від бар’єру визначається відношенням щільності потоку відбитих електронів від бар’єру до щільності потоку падаючих на бар’єр електронів. Розглянемо випадок, коли електрони взаємодіють з прямокутним потенціальним бар’єром шириною  $a$ , висота якого більша його енергії ( $U_0 > E$ ), що надано на рис. 3 [12].

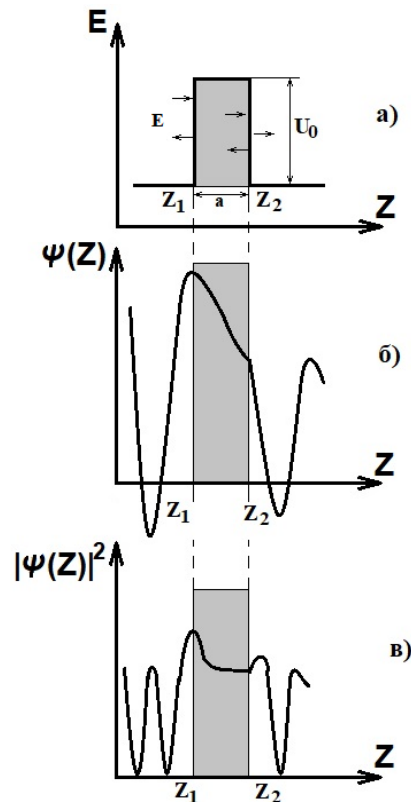


Рис. 3. Взаємодія квантової частинки з повною енергією  $E$  з прямокутним бар’єром висотою  $U_0$  і шириною  $a$  [12]

На рис. 3 подано потенціальний бар'єр висотою  $U_0$  і шириною  $a$ , стрілочками показано рух електронів (а); зміна хвильової функції при проходженні електронами потенціального бар'єру (б); зміна імовірності проходження потенціального бар'єру електронами  $|\psi(z)|^2$ , (в).

У квантовій механіці рух електрона в одновимірному потенціальному полі описується рівнянням Шредінгера, яке витікає з рівняння (3)

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{d^2\psi}{dz^2} + U_0(z)\psi(z) = E\psi(z), \quad (5)$$

де  $U_0(z)$  – зміна потенціальної енергії електрона;  $E$  – повна енергія електрона;  $\psi(z)$  – хвильова функція.

У випадку, коли  $U_0 > E$ , класична частинка не може пройти через такий бар'єр. Вона буде відбиватися у так званих класичних точках повороту. Точка повороту – це точка з координатою  $z$ , в якій кінетична енергія частинки перетворюється в нуль, тобто її повна енергія  $E$  дорівнює  $U_0(z)$ . Для прямокутного бар'єра точки повороту збігаються з координатами границь (точки  $z_1$  і  $z_2$  на рис. 3). Досягнувши точки повороту, частинка починає рухатися у зворотному напрямку.

Для визначення коефіцієнта тунельної прозорості прямокутного бар'єра (рис. 3,а) необхідно розв'язати рівняння Шредінгера для області попереду бар'єра, яке буде мати вигляд

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{d^2\psi_1}{dz^2} - E\psi_1(z) = 0, \quad (6)$$

Для розв'язку рівняння (6) складено характеристичне квадратне рівняння:

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*} K^2 - E = 0, \quad (7)$$

звідки  $K = \pm iK_1$ ,  $i = \sqrt{-1}$

$$K_1 = (1/\hbar)\sqrt{2mE}, \quad (8)$$

тоді хвильова функція  $\psi_1(z)$  має вигляд

$$\psi_1(z) = A_1 e^{iK_1 z} + B_1 e^{-iK_1 z}, \quad z < z_1, \quad (9)$$

Аналітичним чином отримують розв'язок рівняння Шредінгера для області всередині потенціального бар'єра

$$\psi_2(z) = A_2 e^{\xi z} + B_2 e^{-\xi z}, \quad z_1 < z < z_2, \quad (10)$$

де  $\xi = 1/\hbar\sqrt{2m^*(U_0 - E)}$ .

Для області поза бар'єром хвильова функція визначається виразом:

$$\psi_3(z) = A_3 e^{iK_1 z}, \quad z > z_2, \quad (11)$$

У виразах (9) – (11) члени  $A_1 e^{iK_1 z}$  і  $B_1 e^{-iK_1 z}$ ,  $A_2 e^{\xi z}$  і  $B_2 e^{-\xi z}$  описують падаючу і відбиту електронну хвилю, а  $A_3 e^{iK_1 z}$  – хвилю, яка пройшла через бар'єр. Існування хвилі, яка пройшла через бар'єр, що відповідає квантовій частинці з енергією, меншою висоти бар'єра, називають тунельним ефектом. Для його кількісного опису використовують коефіцієнт тунельної прозорості, який визначається постійними інтегрування  $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2$ . Ці величини знаходяться з умов неперервності хвильових функцій  $\psi_1(z)$ ,  $\psi_2(z)$  і  $\psi_3(z)$ , а також їх перших похідних у точках  $z_1$  і  $z_2$ . У випадку одиночного прямокутного бар'єра коефіцієнт тунельної прозорості описується формулою [10]:

$$T(E) = \frac{4K_1^2 \xi^2}{(K_1^2 + \xi^2) \operatorname{sh}^2(a\xi) + 4K_1^2 \xi^2}. \quad (12)$$

Якщо виконується умова  $a\xi \ll 1$ , то вираз для коефіцієнта прозорості спрощується:

$$T(E) \approx T_0 e^{-\frac{2a}{\hbar} \sqrt{2m^*(U_0 - E)}}, \quad (13)$$

де  $T_0 = 16(U_0 - E)/U_0$ . Прозорість потенціального бар'єру довільної форми можна оцінити за виразом [4]:

$$T(E) \cong e^{-\frac{2}{\hbar} \int_{z_1}^{z_2} \sqrt{2m^*(U(z) - E)} dz}, \quad (14)$$

$z_1$  і  $z_2$  точки повороту, при яких виконується умова  $E = U(z_1) = U(z_2)$ . Коефіцієнт відбиття при цьому визначається на основі співвідношення  $R(E) = 1 - T(E)$ .

Ситуація суттєво змінюється у випадку подвійного бар'єра, коли функція  $T(E)$  набуває більш складного вигляду і являє собою добуток двох величин:  $T_E$  для першого бар'єра або емітера і  $T_K$  для другого бар'єра або колектора, отже

$$T(E) = T_E T_K, \tag{15}$$

при цьому розглядається ситуація, коли енергія електронів  $E$  менше висоти бар'єрів. Найбільш проста задача розв'язується, коли бар'єри ідентичні. Коефіцієнт тунельної прозорості такої двобар'єрної структури описується рівнянням [10]:

$$T(E) = \frac{T_0^2}{T_0^2 + 4R_0 \cos^2(\xi a - Q)}, \tag{16}$$

де величини  $T_0$  і  $R_0$  є коефіцієнтами прозорості і відбивання для одиночного бар'єра,  $a$  – товщина квантової ями,  $Q$  – фазовий кут.

Перейдемо до розгляду реактивних елементів тунельно-резонансного діода, виходячи з його еквівалентної схеми [13]. До реактивних елементів відносяться ємність та індуктивність приладу. На рис. 4 наведено еквівалентну схему тунельно-резонансного діода.

Якщо вважати, що між емітером і колектором лежить двобар'єрна зона, що збіднена носіями заряду, то її можна віднести до діелектричного шару товщиною  $d$ , тоді ємність тунельно-резонансного діода можна розрахувати за відомою формулою [14]:

$$C = S \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{d}, \tag{17}$$

де  $S$  – площа перерізу двобар'єрної системи діода,  $\varepsilon$  – діелектрична стала напівпровідника GaAs;  $\varepsilon_0$  – діелектрична стала вакууму,  $d$  – товщина двобар'єрної системи.

Індуктивність тунельно-резонансного діода зв'язана з кінцевою швидкістю руху електронів і вона завжди існує в діоді при будь-яких умовах. Це пояснюється тим, що напруга на емітері, яка викликала рух електронів через прилад, випереджає струм, тобто струм завжди запізнюється по відношенню до напруги, що еквівалентно індуктивній реакції тунельно-резонансного діода. Виходячи з фізичних законів квантової механіки, розраховуємо формулу індуктивності. Енергія електронів у квантовій ямі з однієї сторони визначається другою складовою у формулі (2), а з другої – дорівнює енергії магнітного поля, тому можемо записати:

$$\frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2m^* a^2} = \frac{Li^2}{2}, \tag{18}$$

де  $L$  – індуктивність еквівалентної схеми тунельно-резонансного діода,  $i$  – величина струму, який протікає через діод. З формули (18) знаходимо величину індуктивності:

$$L = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{m^* a^2 i^2} = \frac{h^2 n^2}{4a^2 m^* i^2}. \tag{19}$$

З другого боку енергія електронів у квантовій ямі дорівнює енергії електричного поля, тобто

$$\frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2m^* a^2} = \frac{CU^2}{2}, \tag{20}$$

де  $U$  – напруга прикладена до тунельно-резонансного діода. З виразу (20) знаходимо величину ємності:

$$C = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{m^* a^2 U^2} = \frac{h^2 n^2}{4m^* a^2 U^2}, \tag{21}$$

Перевірити справедливість формул (19) і (21) можна, якщо розрахувати еквівалентну ємність та індуктивність з вхідного повного опору еквівалентної схеми (рис. 4). Вираз вхідного повного опору має вигляд:

$$Z_{ex} = R_s + \frac{-\frac{R_s L}{C} - \frac{R_s}{\omega C} \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R_s^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} - j \frac{\frac{R_s^2}{\omega C} + \frac{L}{C} \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R_s^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}. \tag{22}$$

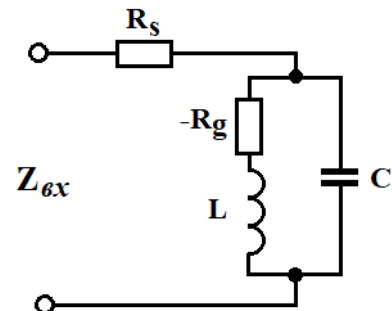


Рис. 4. Еквівалентна схема тунельно-резонансного діода ( $R_s$  – опір втрат;  $R_g$  – від'ємний диференційний опір;  $C$  – ємність діода;  $L$  – індуктивність діода) [13]

В режимі резонансу уявна складова виразу (22) дорівнює нулю, тобто:

$$\frac{R_g^2}{\omega C} + \frac{L}{C} \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = 0. \quad (23)$$

$$R_g^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 = 0.$$

З формули (23) знаходимо резонансну частоту, яка визначається виразом:

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_g^2}{L^2}}. \quad (24)$$

Прирівнюючи нулю активну складову виразу (22), визначаємо частоту, при якій в коливальній системі тунельно-резонансного діода повністю компенсуються втрати енергії, при цьому отримуємо рівняння четвертої степені:

$$\omega^4 R_s^2 C^2 L^2 - \omega^2 (2LCR_s - R_s R_g^2 C^2) + (R_s + R_g) = 0. \quad (25)$$

Введемо такі позначення:

$$s = C^2 L^2 R_s, \quad (26)$$

$$b = (2LCR_s - R_s R_g^2 C^2), \quad (27)$$

$$d = R_s + R_g. \quad (28)$$

Тоді рівняння (25) прийме вигляд:

$$s\omega^4 - b\omega^2 + d = 0, \quad (29)$$

Розв'язок якого описується виразом:

$$\omega^2 = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4sd}}{2s}. \quad (30)$$

Кінцевий результат визначення частоти, при якій активна складова повного вхідного опору дорівнює нулю, має вигляд:

$$f_{R=0} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4sd}}{2s}}. \quad (31)$$

Слід зауважити, що частота  $f_{R=0}$  повинна бути більшою за резонансну частоту  $f_{рез}$ , а робоча частота генератора на основі тунельно-резонансного діода, повинна бути значно менша частоти  $f_{R=0}$  діода.

З рівняння (24) визначається величина ємності тунельно-резонансного діода, яка має вигляд:

$$C = \frac{L}{\omega^2 L^2 + R_g^2}. \quad (32)$$

Розрахунки залежності ємності  $C$ , згідно формули (32) від прикладеної напруги представлено на рис. 5.

Як видно з графіка, величина ємності є постійною в інтервалі напруг від нуля до 0,3 В. На ділянці від 0,3 В до 0,6 В спадає майже по лінійному закону, а далі після напруги 0,6 В до 0,9 В зростає. Така поведінка ємності від напруги пояснюється зміною від'ємного диференційного опору на спадній ділянці вольт-амперної характеристики. Порівняння величини ємності, розрахованої за формулами (21) і (32) при величині прикладеної напруги 0,4 В співпадають з точністю до другого розряду, тобто з точністю до 0,01 %.

Величина індуктивності  $L$  тунельно-резонансного діода визначається на основі виразу (24) і описується формулою:

$$L = \frac{1}{C} - \sqrt{\frac{1}{C^2} - 4R_g^2 \omega^2}. \quad (33)$$

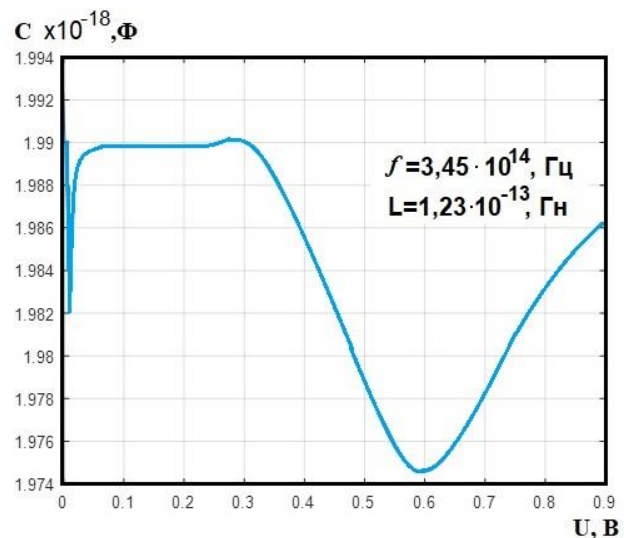


Рис. 5. Залежність ємності тунельно-резонансного діода від прикладеної напруги

На рис. 6 надано розрахунки індуктивності згідно з формулою (33).

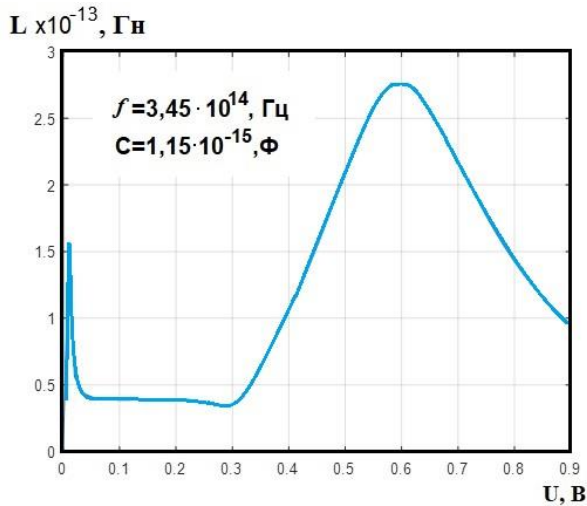


Рис. 6. Залежність індуктивності тунельно-резонансного діода від прикладеної напруги

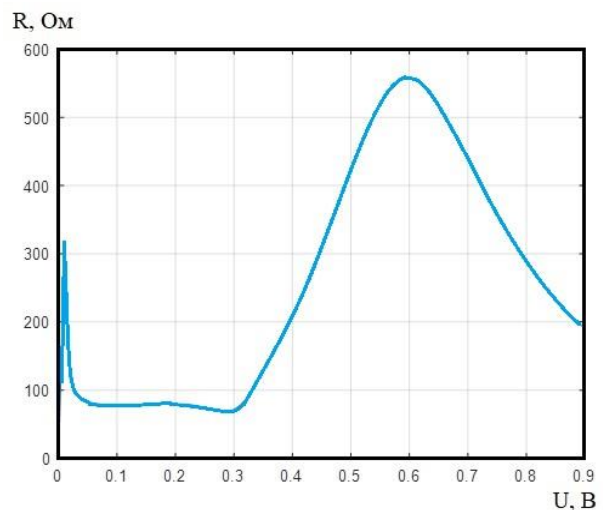


Рис. 7. Залежність диференційного опору тунельно-резонансного діода від прикладеної напруги

Як видно з графіка, зміна величини індуктивності від прикладеної напруги також пояснюється її залежністю від зміни від’ємного диференційного опору на спадній ділянці вольт-амперної характеристики. Порівняння величини індуктивності, яка розрахована згідно формул (19) і (33) співпадають з точністю до 0,01 % в точці з напругою 0,4 В. Як видно з розрахунків, резонансно-тунельні діоди можна використовувати як регульовані ємнісні та індуктивні елементи в області терагерцових частот, причому їх добротність можна регулювати за рахунок від’ємного диференційного опору в інтервалах від 100 і вище.

Зміна диференційного опору по всій шкалі прикладених напруг подано на рис. 7. Від’ємний диференційний опір визначається ділянкою напруг від 0,3 В до 0,6 В. Його величина змінюється від 80 Ом до 550 Ом. Така зміна диференційного опору від прикладеної напруги пояснюється ходом вольт-амперної характеристики діода.

На рис. 8 надано залежність зміни власної резонансної частоти тунельно-резонансного діода від прикладеної напруги. Як видно з рис. 8, з підвищенням напруги живлення діода частота зростає, на ділянці від 0,05 В до 0,2 В дещо стабілізується, а при подальшому зростанні напруги наближається до максимального значення, а на ділянці від 0,3 В до 0,6 В, де існує від’ємний диференційний опір, різко спадає від  $5 \cdot 10^{14}$  Гц до  $3,3 \cdot 10^{14}$  Гц. Така поведінка власної резонансної частоти діода пояснюється взаємним впливом диференційного від’ємного опору, ємності та індуктивності на частоту внаслідок їх зміни від напруги живлення.

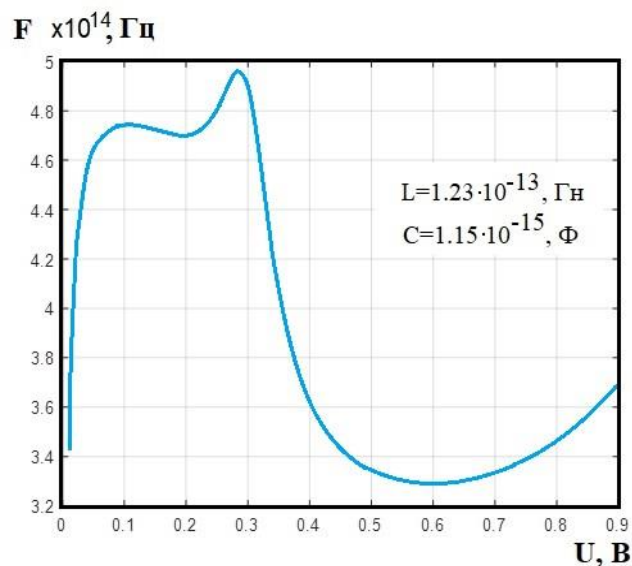


Рис. 8. Залежність власної резонансної частоти тунельно-резонансного діода від зміни напруги живлення

Дані для теоретичного розрахунку параметрів елементів еквівалентної схеми для реальної структури тунельно-резонансного діода складають: просторовий шар  $n^+$ GaAs емітера – 7,6 нм, потенціальний бар’єр з боку емітера AlAs – 5 нм, квантова яма GaAs – 6 нм, потенціальний бар’єр з боку колектора AlAs – 5 нм, просторовий шар  $n^+$ GaAs колектора – 5 нм, площа структури – 25  $\mu\text{m}^2$  [9].

## Висновки

На основі розгляду фізичних процесів у тунельно-резонансному діоді визначено аналітичні формули ємності та індуктивності, які залежать від режиму його роботи. На основі цих формул розраховано їх залежність від режиму живлення з постійної напруги. Показано, що ємність діода змінюється від  $1,99 \cdot 10^{-18}$  Ф до  $1,97 \cdot 10^{-18}$  Ф на спадній ділянці вольт-амперної характеристики, що відповідає існуванню від'ємного диференційного опору, а зміна індуктивності лежить в діапазоні від  $0,5 \cdot 10^{-13}$  Гн до  $2,75 \cdot 10^{-13}$  Гн. Визначено аналітичну залежність резонансної частоти діода від режимів його роботи. Показано, що резонансна частота змінюється на ділянці від'ємного диференційного опору від  $5 \cdot 10^{14}$  Гц до  $3,3 \cdot 10^{14}$  Гц. Це пояснюється сумарним впливом зміни ємності, індуктивності та від'ємного диференційного опору. Резонансно-тунельні діоди можна використовувати як регульовані ємнісні та індуктивні елементи в області терагерцових частот, причому їх добротність можна регулювати за рахунок від'ємного диференційного опору в інтервалах від 100 і вище.

## Література

1. L. Esaki and R. Tsu. Superlattices and negative differential conductivity in semiconductors. IBM J. Res. Develop, vol. 14, P. 61–65. Jan., 1970.
2. R. Tsu and L. Esaki. Tunneling in a finite superlattice. Appl. Phys. Lett., vol. 22, P. 562–564. June, 1973.
3. L.L. Chand, L. Esaki and R. Tsu. Resonant tunneling in semiconductor double barriers. Appl. Phys. Lett., vol. 24, P. 593–595, June, 1974.
4. S.M. Sze and Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices Wiley-Interscience. USA. ISBN-13: 978-0-471-14323-9. 815 p. 2007.
5. Осадчук В.С. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / Осадчук В. С., Осадчук А. В. – Винница : «Универсум-Винница», 1999. – 275 с.
6. Осадчук В.С. Мікроелектронний перетворювач тиску з частотним виходом на основі тунельно-резонансного діода / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Я.О. Осадчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1 (221). – С. 97–101.
7. Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities. Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147167
8. Osadchuk V.S. The Microelectronic Radiomeasuring Transducers of Magnetic Field with a Frequency Output / V.S. Osadchuk, A.V. Osadchuk // Elektronika ir Elektrotechnika. – Kaunas : Technodija, 2011. – № 4 (110). – P. 67–70. – URL: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.110.4.289>
9. Awan, Jram Taj. Optical and Transport of p-i-n GaAs-AlAs resonant tunneling diode. Jram Taj Awan – Sao Carlos: UFS Car, 2014, P. 85.
10. Мартинес-Дуарт Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Рueda. – М. : Техносфера, 2007. – 368 с.
11. Jian Pind Sun, George J. Haddad, Pinaki Mazumder and Joel N. Schulman. Resonant Tunneling Diodes: Models and Properties. Proceedings of The JEEE, vol. 86, N 4, April 1998, P. 641–661.
12. Борисенко В.Е. Физические основы наноэлектроники / Ч. 1 / Борисенко В.Е. – Минск : БГУИР, 2001. – 48 с.
13. Halimatus Saadiah, Warsuzarina Mat Jubadi, Nabihah Ahmad and M. Hairol Jabbar. Resonant Tunneling Diode Design for Oscillator Circuit. International Postgraduate Conference. Physics 2017, P. 1–8.
14. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника / год редак. В.А. Терехова ; пер. с испан. С.И. Баскакова. – М. : Высшая Школа, 1991. – 351с.

## References

1. L. Esaki and R. Tsu. Superlattices and negative differential conductivity in semiconductors. IBM J. Res. Develop, vol. 14, P. 61–65. Jan., 1970.
2. R. Tsu and L. Esaki. Tunneling in a finite superlattice. Appl. Phys. Lett., vol. 22, P. 562–564. June, 1973.
3. L.L. Chand, L. Esaki and R. Tsu. Resonant tunneling in semiconductor double barriers. Appl. Phys. Lett., vol. 24, P. 593–595, June, 1974.
4. S.M. Sze and Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices Wiley-Interscience. USA. ISBN-13: 978-0-471-14323-9. 815 p. 2007.
5. Osadchuk V. S., Osadchuk A. V. Reactive properties of transistors and transistor circuits. - Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, 1999. - 275 p.
6. Osadchuk V.S. Microelectronic pressure transducer with frequency output based on tunneling resonance diode / V.S. Osadchuk, A.V. Osadchuk, I.A. Osadchuk // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – 2015. – № 1 (221). – P. 97–101.
7. Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities. Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147167
8. Osadchuk V.S. The Microelectronic Radiomeasuring Transducers of Magnetic Field with a Frequency Output / V.S. Osadchuk, A.V. Osadchuk // Elektronika ir Elektrotechnika. – Kaunas : Technodija, 2011. – № 4 (110). – P. 67–70. – URL: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.110.4.289>
9. Awan, Jram Taj. Optical and Transport of p-i-n GaAs-AlAs resonant tunneling diode. Jram Taj Awan – Sao Carlos: UFS Car, 2014, P. 85.
10. Martinez-Duart J.M. Nanotechnology for Micro- and Optoelectronics / J.M. Martinez-Duart, R.J. Martin-Palma, F. Agullo-Rueda. – М. : Technosphere, 2007. – 368 p.
11. Jian Pind Sun, George J. Haddad, Pinaki Mazumder and Joel N. Schulman. Resonant Tunneling Diodes: Models and Properties. Proceedings of The JEEE, vol. 86, N 4, April 1998, P. 641–661.
12. Borisenko V.E. Physical foundations of nanoelectronics / Borisenko V.E. Part 1. – Minsk : BSUIR, 2001. – 48 p.
13. Halimatus Saadiah, Warsuzarina Mat Jubadi, Nabihah Ahmad and M. Hairol Jabbar. Resonant Tunneling Diode Design for Oscillator Circuit. International Postgraduate Conference. Physics 2017, P. 1–8.
14. Rosado L. Physical Electronics and Microelectronics / Ed. V.A. Terekhova ; translated from spanish by S.I. Baskakova. – М. : Higher School, 1991. – 351 p.

О.В. ЧЕРМАЛИХ, Д.Д. МУГЕНОВ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

## ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ АМПЛІТУДИ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ З ЛАНКОЮ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

У статті розглянуто вплив іонізуючого випромінювання на роботу електромеханічного обладнання мостового крана сховища радіоактивних відходів. Синтезована математична модель врахування впливу поглиненої дози іонізуючого випромінювання на амплітуду вихідної напруги перетворювача частоти з ланкою постійного струму середньої потужності. Побудована схема силового каналу перетворювача частоти з драйверами, виконаними за біполярною комплементарною технологією, на підставі якої записані рівняння електричної рівноваги. Визначено елементи, радіаційна зміна параметрів яких найбільш суттєво впливає на радіаційну стійкість системи.

**Ключові слова:** іонізуюче випромінювання, електропривод, перетворювач частоти, драйвер, метал оксид напівпровідник, біполярний транзистор, оптрон.

A. V. CHERMALYKH, D. D. MUHENOV

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

### RESEARCH OF THE OUTPUT VOLTAGE AMPLITUDE RADIATION DEPENDENCE OF THE FREQUENCY CONVERTER WITH DC LINK BY USING MATHEMATICAL MODEL

**Introduction.** The article considers the influence of ionizing radiation on the operation of electric drive power electronics of the radioactive waste storage bridge crane. **Problem.** The equipment of bridge crane electric systems is done in general industrial implementation. Since electric drives are exposed to radiation caused by radioactive waste activity and elevated radiation background, it is relevant to explore the effect of ionizing radiation on their performance. Insulated gate bipolar transistor (IGBT) driver chips can be made on the basis of metal-oxide-semiconductor (MOS) or bipolar junction transistors (BJT) complementary technology. **Goal.** To synthesize frequency converter (FC) output voltage amplitude on radiation model for IGBT driver chips which made on the basis of BJTs. To determine the semiconductor device in the circuit, which radiation-dependent parameter affects the most significantly on FC output voltage amplitude. **Methodology.** To achieve this goal, FC power electronics equivalent scheme was built. To obtain its mathematical model, the equation of electric equilibrium was written. In the developed model the idealized, insensitive to radiation, components were substituted turn by turn. **Results.** An electric power channel mathematical model of a medium-power FC is obtained. According to the results of the study it is determined that idealized optocoupler increases the radiation resistance in four times with a monotonic output voltage decrease for circuits with MOS drivers. For a circuit with BJT drivers, the idealized optocoupler shows an increase in radiation resistance almost twice with a monotonic decrease in the output voltage amplitude, but the idealized BJT in the IGBT equivalent circuit gives constant amplitude with the same stability as the real system. **Originality.** The radiation stability analysis of general industrial implementation variable-frequency drive is carried out for the first time. The most radiation-sensitive components of the variable-frequency drive system are revealed. The FC electric power channel scheme with MOS drivers is compared to scheme with BJT drivers. **Practical value.** The obtained results show that in order to increase the radiation resistance of general industrial implementation electric drives, it is necessary to pay attention to the replacement of optocouplers and BJT in IGBT equivalent circuit with more radiation-resistant components.

**Key words:** ionizing radiation, electric drive, frequency converter, driver, metal oxide semiconductor, bipolar junction transistor, optocoupler.

**Постановка проблеми.** Згідно зі Стратегією поводження з радіоактивними відходами в Україні, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2009 р. № 990-р, безпечне поводження з такими відходами є важливою складовою загальної системи забезпечення безпеки під час використання ядерної енергії. В Чорнобильській зоні відчуження для захоронення радіоактивних відходів (РАВ) комплексом виробництв «Вектор» споруджено спеціально обладнані приповерхневі сховища. Для забезпечення заповнення сховищ застосовуються мостові крани, які приводяться в рух засобами електричних приводів за схемою перетворювач частоти (ПЧ) з ланкою постійного струму – асинхронний двигун. Оскільки електроприводи знаходяться під впливом радіації, викликаним активністю РАВ і підвищеним фоном місцевості, актуально дослідити вплив іонізуючого випромінювання (ІВ) на їх працездатність. Мостовий кран розглядається як реальний об'єкт, що працює в зоні іонізуючого випромінювання. Фактично, проведені дослідження підходять для будь-яких напівпровідникових перетворювачів електромеханічного обладнання машин і установок, які працюють в зоні підвищеного рівня радіації.

**Аналіз останніх досліджень на які спирається автор.** Інформація щодо досліджень радіаційної стійкості ПЧ середньої потужності (1,5–500 кВт) на сьогодні практично відсутня. В джерелі [1] розглянуто вплив іонізуючого випромінювання на силовий канал ПЧ потужністю 18,5 кВт із драйверами з метал-діелектрик-напівпровідниковими (МДН) транзисторами.

В теперішній роботі враховані дослідження радіаційної стійкості окремих напівпровідникових елементів електричних кіл: діодів [2], біполярних (БТ) і польових МДН транзисторів [2, 3] та оптронів [4, 5].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Існують також драйвери виготовлені за біполярною комплементарною технологією, та комбіновані, в яких біполярний транзистор відпирає, а польовий – закриває вихідні силові ключі ПЧ. Раніше радіаційна стійкість цих драйверів не була опрацьована.



**Цілі статті:**

1. Синтезувати математичну модель драйвера за біполярною комплементарною технологією для розробленої раніше математичної моделі силового каналу ПЧ задля оцінки впливу поглиненої дози гамма випромінювання на його вихідну напругу.

2. Порівняти радіаційну стійкість систем із МДН і БТ драйверами.

3. Визначити напівпровідниковий пристрій в схемі, радіаційна зміна параметрів якого найсуттєвіше впливає на амплітуду вихідної напруги ПЧ.

**Виклад основного матеріалу.** Оскільки дослідження проводиться для електротехнічного обладнання сховища радіоактивних відходів, доцільно дізнатися які типи іонізуючого випромінювання присутні в його просторі. Згідно з [6], сховища радіоактивних відходів є джерелами нейтронного і гамма випромінювання. Гамма випромінювання має найбільшу проникаючу здатність, завдяки високій частоті електромагнітних хвиль, тому відносно глибоко проникає в міжatomне середовище [7].

Відповідно до [8], радіаційні пошкодження, які можуть бути спричинені напівпровідниковим пристроям, поділяються на три типи:

1) викликані пошкодженням зміщення (Displacement Damage Dose – DDD), також відомі як неіонізуючі втрати енергії в речовині;

2) ефекти одиначної події (Single Event Effects – SEE), являють собою зміну стану напівпровідникового приладу, викликану одиначною іонізуючою частинкою, як показує огляд літератури, такий тип пошкодження або призводить до короткострокового пікового збою з подальшим поверненням в нормальний режим, або до виходу пристрою з ладу;

3) викликані накопиченою поглиненою дозою (Total Ionizing Dose – TID).

В даній роботі розглядатиметься тільки вплив поглиненої дози іонізуючого випромінювання на силові напівпровідникові пристрої перетворювача частоти.

Пошкодження, яке викликає іонізуюче випромінювання, залежить від наступних умов [9]:

- тип, енергія і спектр частинок, що іонізують речовину;
- щільність потоку частинок або потужність дози опромінювання;
- тривалість опромінювання;
- температура;
- інші зовнішні впливи.

Відомо [10], що енергія гамма квантів може бути в діапазоні від 50 кеВ до 10 МеВ. Що стосується нейтронів, то залежно від типу, вони можуть мати енергію від 0.025 еВ і до значень, що перевищують 20 МеВ. Передбачити склад радіоактивних відходів, а відповідно і енергію частинок наперед в довгостроковій перспективі важко, тому для спрощення розрахунків будемо враховувати лише дію гамма випромінювання із енергією квантів 1 МеВ. Проте підставити необхідні значення енергії нейтронного випромінювання в існуючій математичній моделі не складе труднощів.

Щільність потоку іонізуючого випромінювання – це кількість іонізуючих частинок ядерного випромінювання, що перетинають за 1 с площу  $1 \text{ м}^2$ , яка розташована нормально до потоку [10]. Помноживши щільність на час під опромінюванням отримаємо флюенс. Скориставшись виразом із [11 с. 4] можна перевести флюенс гамма квантів в поглинену дозу, вираз справедливий для області енергій від  $2 \cdot 10^4$  до  $2 \cdot 10^6$  еВ, похибка  $\pm 15\%$ . Завантаження сховища радіоактивними відходами відбувається нелінійно у часі, тобто блоки із РАВ простоюють у відкритому сховищі, тому і накопичення поглиненої дози відбувається нерівномірно.

Сховище РАВ обладнано будівлею без опалення, тому коливання температури близькі до сезонних, температура є природним фактором.

В основу математичної моделі покладена схема силового каналу ПЧ з драйверами на основі біполярної комплементарної технології (далі – БТ драйвери), котра зображена на рис. 1.

Позначення наступні: An, Cath – анод і катод драйвера; U<sub>cc</sub>, U<sub>ee</sub> – напруги відпирання і запирання, які драйвер комутує на затвор біполярного транзистора з ізолюваним затвором (БТІЗ); U<sub>a</sub> – напруга фази А; N – нейтраль; Logic – блок формування таблиці істинності драйвера; VD1 – випрямний діод; VT1 – ррп транзистор драйвера; VT2 – ррп транзистор у складі схеми заміщення БТІЗ; VT3 – n-канальний МДН транзистор у складі БТІЗ; VT4 – ррп транзистор драйвера; DA1 – оптрон; Z<sub>load</sub> – опір навантаження; C1, B1 – колектор і база транзистора драйвера; G, C, E – затвор, колектор і емітер БТІЗ; I<sub>c</sub> – струм колектора БТІЗ.

Подальші розрахунки потребують наявності чисельних значень параметрів транзисторів. Так, розглядається електропривод з перетворювачем частоти потужністю 18.5 кВт, номінальною напругою

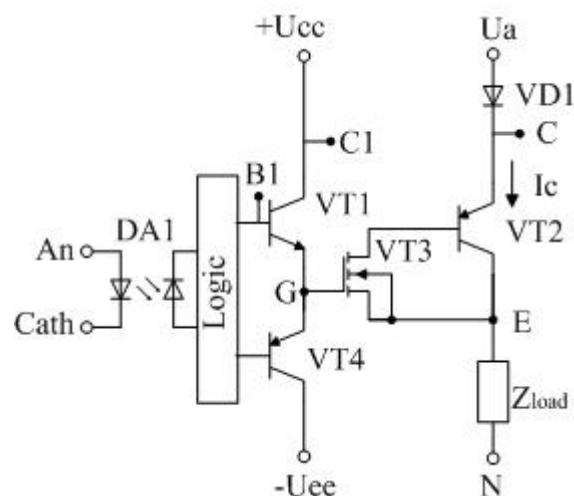


Рис. 1. Напівпровідникова структура силового каналу перетворювача частоти для одного транзистора

живлення 380 В та, виходячи із його робочого струму в 75 А, в якості прототипу обрано модуль БТІЗ BSM50GB120DN2, а за базовий елемент БТ в складі драйверів – транзистори типу BC547 та BC557. Необхідні чисельні значення відповідають паспортним даним вище зазначених виробів.

Оскільки подібна схема розглядалася в [1], висвітлюємо лише її відмінності. На базу транзистора VT1 надходить сигнал напруги з виходу оптрона DA1. Виходом же транзистора VT1 є напруга в точці G. Отже, необхідно математично описати передаточну функцію біполярного транзистора, в якій і вхідним і вихідним сигналами є напруга. В роботі [12, с. 120] представлено вираз, який відображає залежність струму колектора БТ від напруги база-емітер, якщо знехтувати ефектом Ерлі:

$$I_C(U_{BE}) = I_S \cdot e^{U_{BE}/U_T}, \tag{1}$$

де  $I_C$  – струм колектора;  $U_{BE}$  – напруга між базою і емітером біполярного транзистора;  $I_S$  – струм насичення транзистора,  $I_S \approx 10^{-16} \dots 10^{-12}$  А;  $U_T$  – температурний потенціал,  $U_T \approx 26$  мВ [12, с. 55].

В нашому випадку напругою база-емітер є вихідна напруга оптрона  $U_{op.out}(D)$  [1, вираз (5)], яка є функцією від поглиненої дози ІВ. Підставивши  $U_{op.out}(D)$  в (1) і обмеживши струм величиною його насичення отримаємо систему рівнянь:

$$I_{cd}(D) = \begin{cases} I_S \cdot e^{U_{BE}/U_T}, & I_S \cdot e^{U_{BE}/U_T} < I_{C_{sat}} \\ I_{C_{sat}}, & I_S \cdot e^{U_{BE}/U_T} \geq I_{C_{sat}} \end{cases}, \tag{2}$$

де  $I_{cd}(D)$  – залежність колекторного струму біполярного транзистора драйвера від поглиненої дози іонізуючого випромінювання;  $I_{C_{sat}}$  – струм колектора насичення,  $I_{C_{sat}} = 0.1$  А для BC547.

Побудоване графічне зображення системи рівнянь залежності струму колектора БТ драйвера від величини поглиненої дози ІВ (2) представлено на рис. 2.

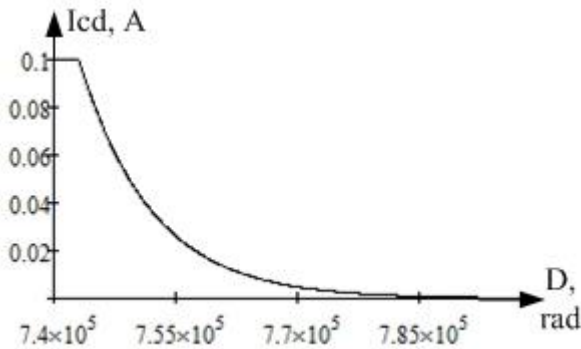


Рис. 2. Залежність колекторного струму біполярного транзистора драйвера від поглиненої дози

З графіка видно, що до дози 745 крад, колекторний струм не змінюється і лишається рівним струму насичення колектора. Далі спостерігається експоненційне зниження струму до 0 при 785 крад, що означає, що транзистор перейде в режим відсічки.

Щоб в подальшому отримати величину напруги на виході транзистора VT1, скористаємось введеним раніше виразом радіаційного динамічного

опору колектора БТ [1, вираз (9)]. Залежність опору насичення колектора від поглиненої дози взято із [3, с. 80]. Підставивши у дану формулу чисельні значення транзистора BC547 побудовано графічну залежність динамічного радіаційного опору колектора транзистора драйвера, рис. 3.

Для того, щоб оцінити величину напруги на затворі БТІЗ, розглянемо транзистор VT1, вхідний опір БТІЗ і джерело напруги, яку комутує VT1 на затвор, як класичний дільник напруги:

$$U_{ZE}(D) = \frac{U_{cc} \cdot R_{GE}}{R_{rd}(D) + R_{GE}}, \tag{3}$$

де  $U_{ZE}(D)$  – залежність напруги, яка подається на затвор БТІЗ від поглиненої дози;  $U_{cc}$  – напруга, яку комутує драйвер на затвор БТІЗ, в даному випадку  $U_{cc} = 20$  В;  $R_{rd}(D)$  – радіаційний динамічний опір каналу колектор-емітер біполярного транзистора драйвера;  $R_{GE}$  – вхідний опір БТІЗ,  $R_{GE} = 20$  кОм для BSM50GB120DN2.

Побудований графік залежності напруги на затворі БТІЗ від поглиненої дози ІВ (3) показано на рис. 4. З графіка видно, що радіаційна стійкість БТ драйвера обмежується величиною поглиненої дози 800 крад, після чого відбувається різке падіння його вихідної напруги до нуля.

Далі математична модель аналогічна до розробленої в [1], тому розглянемо лише фінальну стадію – розрахунок амплітуди вихідної напруги

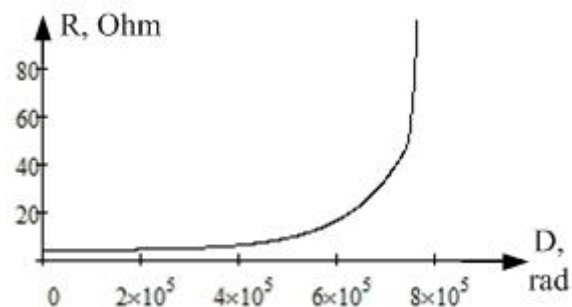


Рис. 3. Залежність динамічного радіаційного опору каналу «колектор-емітер» біполярного транзистора від поглиненої дози

ПЧ:

$$U_{out}(D) = \frac{U_{rectif} \cdot Z_{load}}{R_{dyn}(D) + Z_{load}}, \quad (4)$$

де  $U_{out}(D)$  – амплітуда вихідної напруги ПЧ;  $U_{rectif}$  – напруга на виході випрямляча;  $R_{dyn}(D)$  – динамічний радіаційний опір колектора БТІЗ;  $Z_{load}$  – опір навантаження.

Побудовану графічну інтерпретацію виразу (4) відтворено на рис. 5.

З рис. 5 можна відзначити, що після дози 300 крад починається монотонне зниження амплітуди вихідної напруги, а після досягнення 800 крад спостерігається її різке падіння до нуля, тобто настає функціональна відмова перетворювача частоти.

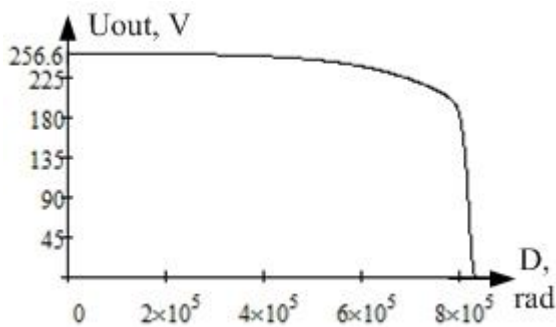


Рис. 5. Залежність амплітуди вихідної напруги перетворювача частоти від поглиненої дози для схеми з БТ драйверами

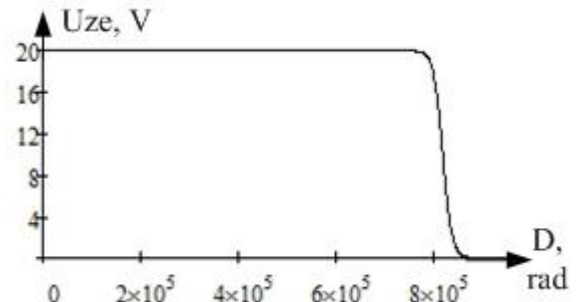


Рис. 4. Залежність напруги затвор-емітер БТІЗ від поглиненої дози в схемі з БТ драйвером

Визначимо напівпровідниковий пристрій в схемі, радіаційна зміна параметрів якого найсуттєвіше впливає на амплітуду вихідної напруги ПЧ. Для вирішення цього питання необхідно в дійсній математичній моделі замість існуючих напівпровідникових пристроїв по черзі підставити ідеалізовані, тобто нечутливі до впливу радіації. Дослідимо обидва варіанти схем: з МДН [1] і з БТ драйверами. Зі схеми на рис. 1 виділимо такі радіаційно чутливі пристрої: оптрон, БТ драйвера, n-канальний МДН в складі схеми заміщення БТІЗ, ррр транзистор в складі БТІЗ, випрямний діод. В схемі з МДН драйвером відповідно буде розглянуто р-канальний МДН драйвера.

В таблиці 1 представлені величини радіаційно-чутливих параметрів ідеалізованих варіантів вищезазначених пристроїв.

Таблиця 1

**Радіаційно-чутливі параметри напівпровідникових пристроїв і їх ідеалізованих математичних моделей**

Напівпровідниковий пристрій	Радіаційно-чутливий параметр	Величина радіаційно-чутливого параметра ідеалізованого пристрою
Оптрон	Коефіцієнт передачі	1
БТ драйвера	Зміна опорного насичення колектора	0
МДН драйвера	Зміна напруги відсічки	0
МДН в БТІЗ	Зміна напруги відсічки	0
БТ в БТІЗ	Зміна опорного насичення колектора	0
Діод	Зміна прямого падіння напруги	0

Згідно з обраним підходом отримано графіки, представлені на рис. 6, 7.

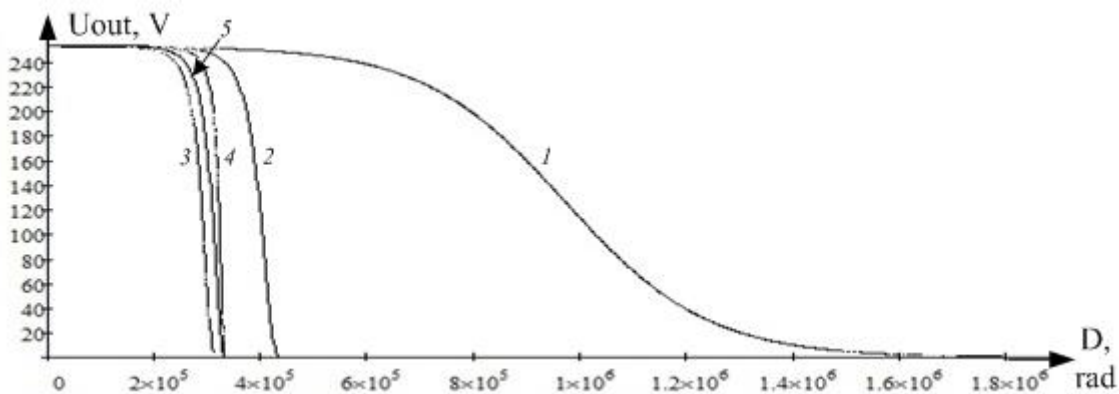


Рис. 6. Залежність амплітуди вихідної напруги перетворювача частоти з МДН-драйверами від поглиненої дози, порівняно з ідеалізованим:  
1 – оптроном; 2 – МДН-транзистором драйвера; 3 – МДН-транзистором в складі БТІЗ;

4 – біполярним транзистором у складі БТІЗ; 5 – діодом

З отриманих кривих (рис. 6) можна зробити висновок, що найбільшу радіаційну стійкість показує система з нечутливим до радіації оптроном. До дози 400 крад амплітуда напруги майже не змінюється, від 400 крад до 1,6 Мрад відбувається її монотонне зниження до нуля. Схеми із ідеалізованими діодом, МДН в БТІЗ і БТ в БТІЗ мають приблизно однакову стійкість близьку до реальної системи, що складає  $\approx 250$  крад. Нечутливий до іонізуючого випромінювання МДН драйвера демонструє більшу стійкість через те, що зменшення його затворної напруги не супроводжується збільшенням напруги відсічки.

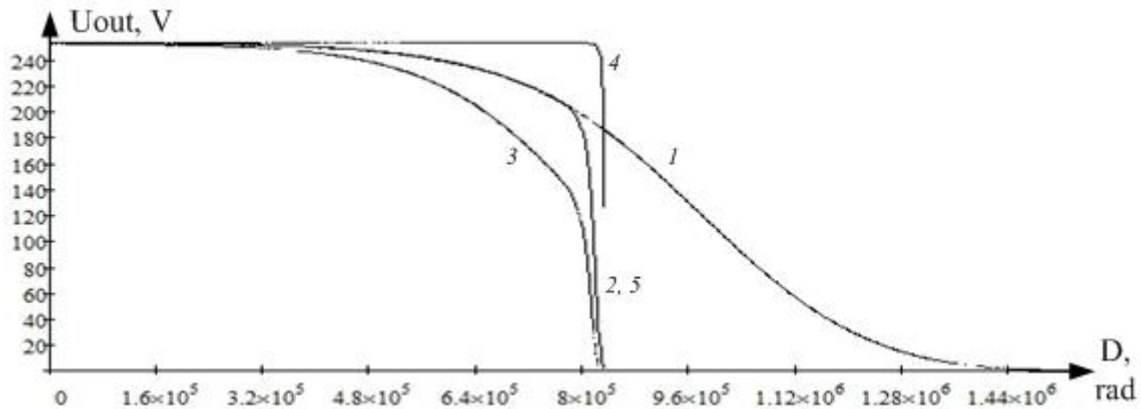


Рис. 7. Залежність амплітуди вихідної напруги перетворювача частоти з БТ-драйверами від поглиненої дози, порівняно з ідеалізованим:

1 – оптроном; 2 – МДН-транзистором драйвера; 3 – МДН-транзистором в складі БТІЗ; 4 – біполярним транзистором у складі БТІЗ; 5 – діодом

Графіки на рис. 7 показують наступне. Хоча ідеалізований оптрон в системі проявляє найбільшу радіаційну стійкість – 1,44 Мрад, проте після дози в 320 крад амплітуда монотонно знижується, що призведе до такого ж монотонного зниження вантажопідйомності крану. З цієї точки зору вигідніше поводитись система з нечутливим до ІВ біполярним транзистором в складі БТІЗ – до дози 800 крад спостерігається абсолютна жорстка залежність амплітуди від дози, однак, спостерігається різкий вихід з ладу схеми після 800 крад. Криві для ідеалізованих БТ драйвера і діода зливаються воедино і до дози 800 крад повторюють характеристику з ідеальним оптроном. Нечутливий до радіації МДН в складі БТІЗ має подібну залежність до реальної системи, що пов'язано із тим, що в реального  $n$ -канального МДН транзистора напруга відсічки зменшується при дозі 750 крад на 2 В (порогова напруга для неопроміненого BSM50GB120DN2 рівна 5,5 В), а напруга, яка подається на затвор при тій же дозі – 20 В. Таким чином ідеалізований і реальний  $n$ -канальні МДН транзистори в даному випадку поведуться однаково.

### Висновки

1. Синтезовано математичну модель драйвера за біполярною комплементарною технологією для розробленої раніше математичної моделі силового каналу ПЧ задля оцінки впливу поглиненої дози іонізуючого гамма випромінювання на амплітуду вихідної напруги ПЧ. Моделювання проводились в програмному середовищі Mathcad 15.

2. Виявлено, що схема із драйвером на основі БТ радіаційно стійкіша і функціонує до дози 800 крад проти 250 крад у випадку драйвера з МДН транзистором.

3. Досліджено математичну модель силового каналу ПЧ задля визначення напівпровідникового пристрою, радіаційна зміна параметрів якого чинить найсуттєвіший вплив на роботу схеми. Визначено, що найістотніший вплив на радіаційну стійкість схеми силового каналу ПЧ вносить оптрон, оскільки його основний параметр – коефіцієнт передачі – монотонно спадає із зростанням поглиненої дози радіації [4, 5]. Виявлено, що застосування ідеалізованого оптрону, коефіцієнт передачі якого не залежить від радіації, дозволяє підвищити радіаційну стійкість системи з МДН драйверами від 250 крад до 1,6 Мрад з монотонним спаданням амплітуди до нуля; системи з БТ драйверами – від 800 крад до 1,44 Мрад з монотонним спаданням амплітуди до нуля. Застосування ж ідеалізованого біполярного транзистора в схемі з БТ драйверами не підвищує радіаційну стійкість, але забезпечує незмінну величину амплітуди вихідної напруги ПЧ.

### Література

1. Chermalykh A.V. Ionizing radiation influence on the frequency converter output voltage / A.V. Chermalykh, D.D. Muhenov // East European Scientific Journal. – Warsaw, 2020. – Vol. 5(57). – P. 26–34.
2. Вологдин Э.Н. Радиационные эффекты в некоторых классах полупроводниковых приборов : учебное пособие / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. – Москва : Московский гос. инст. электроники и математики, 2001. – 70 с.
3. Вологдин Э.Н. Радиационная стойкость биполярных транзисторов : учебное пособие / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. – Москва : Московский гос. инст. электроники и математики, 2000. – 102 с.
4. LaBel K.A. A Compendium of Recent Optocoupler Radiation Test Data / 2000 IEEE Radiation Effects

Data Workshop. Workshop Record. Held in conjunction with IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference (Cat. No.00TH8527) : зб. наук, праць за матеріалами міжнар. наук.-практ. конф. (24–28 лип. 2000 р., м. Ріно (Невада)). – Ріно (Невада), 2000. – 157 с. – DOI: 10.1109/REDW.2000.896280.

5. Reed R.A. Space radiation effects in optocouplers / R.A. Reed, P.W. Marshall, K.A. Label // International Journal of High Speed Electronics and Systems. – Singapore, 2004. – Vol. 14, No. 02. – P. 401–417. – DOI: 10.1142/S0129156404002430.

6. Буриев Н.Н. Внешнее излучение комбинированного хранилища радиоактивных отходов / Н.Н. Буриев, Н.Т. Буриев // Символ науки : Международный научный журнал. – 2016. – № 10-1. – С. 18–20.

7. Погосов А.Ю. Ионизирующая радиация: радиозкология, физика, технологии, защита : навч. посіб. / А.Ю. Погосов, В.А. Дубковский. – Одеса : Наука и техника, 2012. – 804 с.

8. Fiore S. Radiation damage effects on detectors and electronic devices in harsh radiation environment / S. Fiore // Acta Physica Polonica Series – Варшава, 2015. – № 127(5). – С. 1560–1562. – DOI: 10.12693/APhysPolA.127.1560

9. Бекман И.Н. Радиоактивность и радиация [Электронный ресурс] : конспект лекций / И.Н. Бекман. – Москва : МГУ, 2006. – Режим доступа : <http://profbeckman.narod.ru/RR0.htm> (дата звернення: 04.03.2020).

10. Лощаков И.И. Введение в дозиметрию и защита от ионизирующих излучений : навч. посіб. / И.И. Лощаков. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, 2008. – 145 с.

11. Роках А.Г. Действие ионизирующих излучений на полупроводниковые материалы и приборы : конспект лекций / А.Г. Роках. – Саратов : СГУ, 2007. – 60 с.

12. Титце У. Полупроводниковая схемотехника. Том I / У. Титце, К. Шенк. – 12-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 832 с.

#### References

1. Chermalykh A.V. Ionizing radiation influence on the frequency converter output voltage / A.V. Chermalykh, D.D. Muhenov // East European Scientific Journal. – Warsaw, 2020. – Vol. 5(57). – P. 26–34.

2. Vologdin E.N. Radiacionnye efekty v nekotorykh klassakh poluprovodnikovyyh priborov : uchebnoe posobie / E.N. Vologdin, A.P. Lysenko. – Moskva : Moskovskij gos. inst. elektroniki i matematiki, 2001. – 70 s.

3. Vologdin E.N. Radiacionnaya stojkost bipolyarnyh tranzistorov : uchebnoe posobie / E.N. Vologdin, A.P. Lysenko. – Moskva : Moskovskij gos. inst. elektroniki i matematiki, 2000. – 102 s.

4. LaBel K.A. A Compendium of Recent Optocoupler Radiation Test Data / 2000 IEEE Radiation Effects Data Workshop. Workshop Record. Held in conjunction with IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference (Cat. No.00TH8527) : zb. nauk, prac za materialami mizhnar. nauk.-prakt. konf. (24–28 lip. 2000 p., m. Rino (Nevada)). – Rino (Nevada), 2000. – 157 s. – DOI: 10.1109/REDW.2000.896280.

5. Reed R.A. Space radiation effects in optocouplers / R.A. Reed, P.W. Marshall, K.A. Label // International Journal of High Speed Electronics and Systems. – Singapore, 2004. – Vol. 14, No. 02. – P. 401–417. – DOI: 10.1142/S0129156404002430.

6. Buriev N.N. Vneshnee izluchenie kombinirovannogo hranilisha radioaktivnyh othodov / N.N. Buriev, N.T. Buriev // Simvol nauki : Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. – 2016. – № 10-1. – S. 18–20.

7. Pogosov A.Yu. Ioniziruyushaya radiatsiya: radioekologiya, fizika, tehnologii, zashita : navch. posib. / A.Yu. Pogosov, V.A. Dubkovskij. – Odesa : Nauka i tehnika, 2012. – 804 s.

8. Fiore S. Radiation damage effects on detectors and electronic devices in harsh radiation environment / S. Fiore // Acta Physica Polonica Series – Varshava, 2015. – № 127(5). – S. 1560–1562. – DOI: 10.12693/APhysPolA.127.1560

9. Bekman I.N. Radioaktivnost i radiatsiya [Elektronnij resurs] : konspekt lekcij / I.N. Bekman. – Moskva : MGU, 2006. – Rezhim dostupu : <http://profbeckman.narod.ru/RR0.htm> (data zvernennya: 04.03.2020).

10. Loshakov I.I. Vvedenie v dozimetriyu i zashita ot ioniziruyushih izluchenij : navch. posib. / I.I. Loshakov. – Sankt-Peterburg : Izdatelstvo Politehnicheskogo universiteta, 2008. – 145 s.

11. Rokah A.G. Dejstvie ioniziruyushih izluchenij na poluprovodnikovye materialy i pribory : konspekt lekcij / A.G. Rokah. – Saratov : SGU, 2007. – 60 s.

12. Titce U. Poluprovodnikovaya shemotekhnika. Tom I / U. Titce, K. Shenk. – 12-e izd. – M. : DMK Press, 2008. – 832 s.

Рецензія/Peer review : 09.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 03.11.2020 р.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

DOI 10.31891/2307-5732-2020-287-4-174-183

УДК 621.317.73

Ю.М. БОЙКО, І.С. ПЯТИН, А.В. ЗАЄЦЬ

Хмельницький національний університет

### МОДЕЛІ СИСТЕМ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

У роботі представлено результати синтезу та аналізу можливого сценарію декодування кодів низької щільності перевірок на парність. Розглянуті принципи декодування кодів низької щільності перевірок на парність на основі турбопідходу. Сформовано схему передавальної та приймальної частини телекомунікаційного каналу з використанням кодування з низькою щільністю перевірок на парність. Описано математичні моделі досліджуваної схеми декодування. Досліджено динаміку роботи декодера та визначено енергетичну ефективність декодування за різної кількості ітераційних циклів. Наведено результати моделювання телекомунікаційного каналу з кодами низької щільності перевірок на парність на основі алгоритму декодування «сума-добуток». Досліджена завадостійкість телекомунікаційного каналу з кодами низької щільності перевірок на парність при зміні кодової швидкості.

Ключові слова: коди LDPC, кодер, декодер, модулятор, завадостійке кодування.

J. BOIKO, I. PYATIN, A. ZAIETS

Khmelnitskyi National University

### MODELS OF NOISELESS CODING SYSTEMS IN TELECOMMUNICATIONS

The paper presents the results of the synthesis and analysis of a possible scenario for decoding low-density parity-check codes. The principles of decoding low-density parity-check codes based on the turbo approach are considered. The modern communication theory is based on a scientific task, the essence of which is based on the synthesis of a model of information transfer from an information source to a receiver based on its spatial or temporal dislocation. We will design the decoder based on the "turbo" approach on the basis that the modulation and code will be processed in the receiving device separately. A diagram of the transmitting and receiving parts of the telecommunication channel is formed using coding with a low density of parity checks. The mathematical models of the investigated decoding scheme are described. The dynamics of the decoder's operation is investigated and the energy efficiency of decoding for a different number of iteration cycles is determined. The mathematical model of the proposed decoder scheme is presented on the basis of such a statistical parameter as the message distribution function (the average mutual information between the total number of transmitted bits of the codeword and the general message in the decoder, which refers to a specific bit). The modelling process is a fundamental and central step in the analysis and design of advanced communications systems. The decoding process of the decoder for low density parity codes was represented as an iterative exchange of message sets between the variable node detector and the check node detector. In particular, every time when the target task for the design of a telecommunication system is to obtain high system performance close to the theoretical (final) boundaries, the quality of the model has a direct impact on the final result. It is possible to quantify the result obtained using information-theoretical tools. The results of modelling a telecommunication channel with low-density parity-check codes based on the "Sum-Product" decoding algorithm are presented. The noise immunity of a telecommunication channel with codes of low density of parity checks when changing the code rate is investigated.

Keywords: LDPC codes, encoder, decoder, modulator, noiseless coding.

**Вступ. Аналіз літературних джерел.** Сучасна теорія зв'язку базується на науковому завданні, суть якого ґрунтується на синтезі моделі передачі інформації від джерела інформації до отримувача на основі його просторової або часової дислокації – місця розміщення [1–3]. Загальними для вирішення такої задачі є наукові підходи які містять такі кроки: спостереження за природою; математичне моделювання спостережуваних явищ; валідація моделі. Інжиніринг, тобто проектування системи зв'язку, додає четвертий крок: виведення на основі математичної моделі практичного рішення для виконання заданого завдання.

Таким чином, процес моделювання є основним і центральним кроком в аналізі та проектуванні вдосконалених систем зв'язку. Зокрема, щоразу, коли цільовим завданням проектування телекомунікаційної системи є отримання високої продуктивності системи, близької до теоретичних (граничних) меж, якість моделі має прямий вплив на кінцевий результат. Кількісно оцінити отриманий результат можна за допомогою інформаційно-теоретичних інструментів [3–5].

Якість системи передачі у телекомунікаціях можна визначити, проаналізувавши різницю між послідовністю  $A$  та послідовністю  $\hat{A}$  та виразити її через певні параметри. В приведеному нижче дослідженні, розглядалась модель передачі цифрового потоку даних, тобто дискретний цифровий процес  $A$ , що складається з послідовності символів  $\{a_k\}$ , що належать до дискретного набору можливих значень  $\hat{A}$ . На виході приймача утворюється відповідна послідовність виявлених символів  $\hat{A} = \{\hat{a}_k\}$ , причому  $\hat{a}_k \in \hat{A}$ . Для бінарних символів, найбільш актуальним показником якості передачі є ймовірність бітової помилки, а саме ймовірність помилки для загального біта в цифровому потоці [4], тобто:

$$p_e = p\{a_k \neq \hat{a}_k\}. \quad (1)$$

Середню ймовірність помилки можна представити наступним чином:

$$p_e = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n p\{a_k \neq \hat{a}_k\}. \quad (2)$$

Кілька важливих сімейств кодів для сучасних телекомунікацій належать, також, і до лінійних блокових кодів, серед яких: коди Ріда-Соломона (РС), коди Хеммінга (Х); турбокоди (Т-К); коди LDPC (НЦПП), а також циклічні коди Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ) [5–8].

Звичайно кодування потоку даних може виконуватися двома різними способами: (а) блокове кодування та (б) кодування потоку. Перший тип кодування полягає в розподілі послідовності даних на блоки довжиною  $K$  і застосуванні до кожного блоку функції кодування, з метою утворення окремих кодових слів довжиною  $N$ . Отримані кодові слова з'єднуються для формування кодової послідовності. У потоковому кодуванні послідовність даних подається на автомат з кінцевим саном (МКС), який формує один або більше кодових символів для кожного символу вхідних даних.

Загалом, блоковий код  $C$  – це векторна функція, що асоціює вектор  $K$  елементів, що належать множині  $A$  із вектором з  $N$  елементів, що належать до набору  $X$ . Якщо припустити, що функція є ін'єктивною, набір усіх кодових слів дорівнюють  $[\text{Card}(A)]^K$ , де  $\text{Card}(A)$  – це кардинальність  $A$ .

Швидкість коду  $R_c$ , виражена у бітах на вихідний символ, визначається як:

$$R_c = \frac{K \log_2 \text{Card}(A)}{N}. \quad (3)$$

Лінійний блоковий код над  $q$ -м кінцевим полем Галуа [4] який позначається як  $GF(q)$  – це векторна лінійна функція, яка асоціює  $K$ -розмірний вектор  $a$  елементів у  $GF(q)$ , тобто дані, що кодується і  $n$ -мірний вектор  $x$  елементів у  $GF(q)$ , тобто кодове слово, за наступним правилом:

$$x = Ga, \quad (4)$$

де  $G$  – матриця в  $GF(q)$ , що називається генераторною матрицею [8, 9]. Крім того, набір усіх кодових слів може бути охарактеризований матрицею перевірки парності, яку позначимо  $H$  і яку можна отримати при певній трансформації  $G$ . Вектор  $x$  є кодовим словом тоді і лише тоді, коли:

$$Hx = 0. \quad (5)$$

Таким чином множина всіх кодових слів визначається як нульовий простір матриці перевірки парності  $H$ .

Існує кілька методик декодування лінійних блокових кодів. Зокрема, можливі два підходи: (а) жорстке виведення декодування, яке виводить оцінки кодових слів або символів даних, і (б) декодування з м'яким виходом, яке виводить ймовірність кожного кодового слова або символу даних, тобто це оцінка того, скільки кодових слів або символівних даних може приймати кожне можливе значення.

В роботі [1] описано результати дослідження енергетичної ефективності каналного кодування даних користувача кодами LDPC для систем зв'язку 5G. Розглянуті принципи узгодження швидкості і виконання гібридного автоматичного запиту на повторення (HARQ). Проведений аналіз структурної схеми і моделі каналу зв'язку з кодами LDPC. В статтях [2, 3] описано різні сценарії використання розширеного мобільного ширококутного зв'язку для технології 5G. Зокрема акцентовано на специфічних можливостях кодів з низькою щільністю перевірок на парність (5G LDPC) які розроблені для підтримки високої пропускної здатності, змінної швидкості та довжини коду та задовільної виправної здатності. Дослідження які описано у роботах [4–7], торкаються питань адаптивного декодування, конструювання сигнально-кодових конструкцій на основі турбо-кодів, РС-кодів, БЧХ-кодів. В цих роботах наведено важливі результати досліджень описаних кодів в каналах з багатопозиційною модуляцією. Наводяться загальні рекомендації щодо вибору швидкості кодування, структури кодів в телекомунікаційних каналах з різним рівнем шумів та завад. Роботи [10–14] зосереджені на описі квазіциклічних LDPC-кодів для швидкого кодування, архітектури декодера зі зниженою складністю завдяки пошаровому декодуванню LDPC-кодів.

У запропонованій роботі наводиться синтез та аналіз можливого сценарію до проектування декодера кодів з НЦПП та основі турбо-підходу. Основна мета такого дослідження полягає у оцінці ефективності коду НЦПП при формуванні сигнально-кової конструкції з цифровою модуляцією. Ефект від застосування запропонованої конструкції декодера оцінювався за різної кількості ітерацій декодування, шляхом визначення ймовірності бітової помилки. Модель телекомунікаційної системи з кодами НЦПП була досліджена імітаційним моделюванням і зміною кількості ітераційних циклів декодування та швидкості кодування для визначення енергетичного виграшу.

**Проектування НЦПП-декодера на основі турбопідходу.** Проектування декодерів НЦПП-кодів які призначені для декодування сигнально-кодових конструкцій у телекомунікаційних каналах, будемо розглядати на основі двох підходів: графічного і турбо. Основна відмінність таких підходів ґрунтується на конструкції і реалізації блоку обробки сигналів. Однаковим для двох підходів, є конструкція передавальної частини телекомунікаційного каналу, що містить НЦПП-кодер і модулятор.

Для першого підходу, що ґрунтується на графах [1], наявність модулятора для утворення сигнально-кової конструкції може бути враховано шляхом розширення графу НЦПП-коду до більш загального. Однак цей процес супроводжується введенням нових вузлів які загалом повинні враховувати нові обмеження, що викликані модуляцією і каналом. В цьому випадку доцільно канал і модулятор інтерпретувати як сукупність кореляційних схем поєднання НЦПП-коду та М-PSK або QAM модуляції. Під час моделювання таких схем на перший план виходить пересторога відносно нових обмежень на граф, а

саме виникнення коротких циклів які в кінцевому рахунку можуть вплинути на продуктивність алгоритмів декодування.

Проектування декодера на основі «турбо» підходу будемо здійснювати на тих засадах, що модуляція і код будуть оброблятися в приймальному пристрої окремо [15]. В приймальному пристрої використаємо «м'яку» схему демодулятора який спроектуюмо так щоб він міг враховувати апіорні ймовірності модульованих бітів кодового слова. Звичайно апіорна ймовірність переданих бітів дорівнює  $1/2$ , тобто «0» і «1» рівноймовірні. Однак, врахування загальних апіорних ймовірностей у «м'якій» схемі демодулятора дозволяє приймати інформацію від зовнішнього блоку обробки. Таким блоком, в нашому випадку, буде НЩПП-декодер який буде ітеративно обмінюватись даними із «м'якою» схемою детектору.

Представимо схему на рис. 1, де детектор за «м'якою» схемою і програмний НЩПП-декодер підключено в обидвох напрямках: схема «м'якого» детектору обчислює повідомлення і відправляє їх на НЩПП-декодер, який далі обчислює нові повідомлення які повинні бути спрямовані з апіорною ймовірністю на вхід «м'якої» схеми детектору.

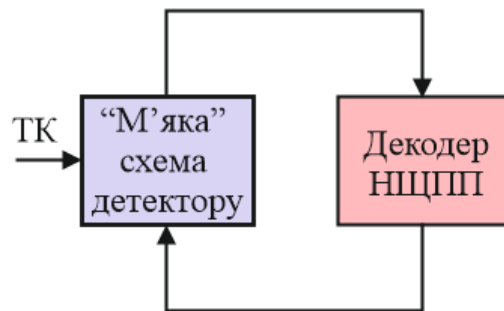


Рис. 1. Схема декодування на основі турбо-підходу: ТК – телекомунікаційний канал

Така конструкція досить схожа на конструкцію турбодекодера [15]. В такому випадку канал і модулятор зв'язано з «м'яким» детектором, а кодер з виправленням помилок зв'язано з НЩПП-декодером. Головний недолік такого підходу полягає в тому, що розділення на окремі блоки призводить до того, що кожен блок враховує специфічні особливості каналу зв'язку і загальний результат може бути неоптимальним. Це слід враховувати в кінцевому результаті проектування.

Проведемо проектування передавальної та приймальної частини телекомунікаційного каналу з НЩПП-декодером. Врахуємо, що у [2–4] процес декодування декодеру НЩПП представлено як ітеративний обмін наборами повідомлень між детектором перемінного вузла (ДПВ) і детектором перевірного вузла (ПВД). На рис. 2 а та б, відповідно, представлено схему передавальної та приймальної частини каналу:

За схемою на рис. 2, а, інформаційна послідовність у двійковій формі  $\{x_i\}$  потрапляє на НЩПП-кодер де перетворюється у кодове слово  $\{y_i\}$ . Далі, двійкові символи використовуються для модуляції високого порядку  $\{c_k\}$ . Задача внутрішнього кодера-модулятора (ВК(М)) полягає у підвищенні завадостійкості при передачі інформації по ТК. На вхід приймальної частини, рис. 2, б, потрапляє сукупність випадкових значень переданого сигналу  $\{r_k\}$ . Приймальну частину на рис. 2, б, було розділено на два блоки А та Б. У першому блоці А, розміщено кодовий демодулятор з «м'яким» виходом (КД-МВМВ). Основне призначення цього блоку – обчислення апостеріорної ймовірності двійкових символів  $\{y_i\}$  на основі відомостей про ТК та відповідних апіорних ймовірностей з блоку «Декодер НЩПП-ДПВ».

Детектор перемінних вузлів НЩПП-коду (ДПВ) пов'язаний з перемінними вузлами у дводольному графі [1–5]. Цей блок призначено для обчислення ймовірності кожного двійкового символу  $\{y_i\}$  на основі ймовірності КД-МВМВ та інформації яку отримано з блоку Б із врахуванням обмежень, що накладено на конкретну СКК. У свою чергу, блок Б включає частину декодеру НЩПП, а саме «Декодер НЩПП-ПВД», що пов'язана з перевірочними вузлами у дводольному графі коду. Декодер НЩПП-ПВД обчислює ймовірність кожного двійкового символу  $\{y_i\}$  на основі апіорних ймовірностей які отримано з блоку «Декодер НЩПП-ДПВ» та на основі обмежень накладених на конкретну СКК.

Ймовірності які отримано на виході блоку А, що виражено у формі логарифму правдоподібностей (ЛП) [8, 9], обчислювали у наступній послідовності:

1. ДПВ обробляє повідомлення, що надходять з блоку Б, шляхом виконання в кожному перемінному вузлі додавання усіх вхідних повідомлень за виключенням повідомлення яке надходить з блоку КД-МВМВ; отримані повідомлення далі передаються в блок КД-МВМВ як апіорна ймовірність.

2. Блок КД-МВМВ виконує обчислення у відповідності до внутрішнього алгоритму на основі спостережень щодо ТК і відповідної апіорної інформації.

3. ДПВ обчислює повідомлення які мають бути спрямовані в блок Б у відповідності до визначеного алгоритму декодування НЩПП-коду при цьому використовується як апіорна інформація повідомлення від КД-МВМВ.

Загальний алгоритм декодування який пропонується представимо так:

– на першому етапі апіорна ймовірність символів  $\{y_i\}$  на вході блоку А (тобто та яка надходить до блоку Б) відповідає повній невизначеності (має значення яке дорівнює 0 в області відношення ЛП);



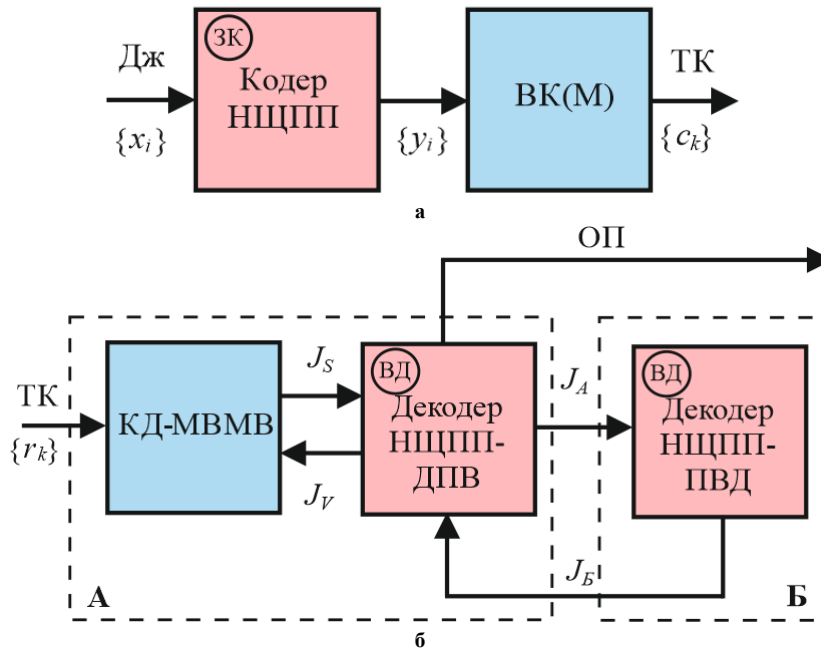


Рис. 2. Структурна схема передавальної та приймальної частини телекомунікаційного каналу з кодуванням НЦПП: ТК – телекомунікаційний канал

– декодування починається з блоку А, який обчислює вхідну ймовірність і спрямовує її до блоку Б. На першому етапі вихідна інформація з блоку А складається з вихідних даних блоку КД-МВМВ так як всі повідомлення які надходять з ПВД будуть дорівнювати нулю. Отже, ПВД (тобто блок Б) обчислює зовнішню інформацію яка повинна бути передана блоку А;

– далі, алгоритм повторюється з другого кроку до тих пір, поки не буде отримано дійсне кодове слово НЦПП-коду або поки не буде досягнута максимальна кількість ітерацій;

– у випадку, якщо кодове слово НЦПП-коду неотримане, застосовується додатково стандартний алгоритм декодування НЦПП-коду на підставі останньої зовнішньої інформації на виході блоку ДПВ. Такий процес буде еквівалентним повторенню інформації лише між блоками ДПВ і ПВД;

– в кінці процесу декодування повна ймовірність декодованої інформації обчислюється у ДПВ і надходить до отримувача повідомлень (ОП).

Математичну модель роботи запропонованої схеми декодера можна представити на основі такого статистичного параметра як функція розподілу повідомлень (ВІ) (середня взаємна інформація між загальною кількістю переданих бітів кодового слова і загальним повідомленням у декодері, що відноситься до конкретного біту).

Якщо кожне повідомлення  $m$  у кодовому наборі має однаковий і відомий розподіл  $(p(m|a))$ , де  $a$  – відповідний біт, то ВІ можна представити у вигляді [8]:

$$J = \sum_a \int p(m|a) P(a) \log \frac{p(m|a)}{p(m)} dm. \tag{6}$$

Для реального випадку, коли розподіл повідомлень не дорівнює один одному, або повідомлення наперед невідоме, для визначення ВІ можна скористатись наступним виразом:

$$J = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L J_i, \tag{7}$$

де  $J_i$  – ВІ між  $i$ -м повідомленням і відповідним бітом, а  $L$  – загальна кількість повідомлень.

Повертаючись до рис. 2, б, для обчислення вихідної діаграми ВІ для блоків А та Б, отримаємо, що блок Б буде характеризуватись лише кривою НЦПП-ПВД, а вихідна крива ВІ блоку А буде отримана шляхом об'єднання кривої НЦПП-ДПВ та КД-ПВПВ.

$$J_B = 1 - \sum_j \beta_j I(\sqrt{j-1} I^{-1}(1-J_A)), \tag{8}$$

$$J_A = \sum_j \gamma_j I(\sqrt{(j-1)J^{-1}(J_B)^2 + (I^{-1}(J_S))^2}), \tag{9}$$

де функцію  $I$  визначено у вигляді:

$$I(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} e^{-\frac{(x-\sigma^2/2)^2}{2\sigma^2}} \log \frac{2}{1+e^{-x}} dx. \tag{10}$$

У свою чергу, ВІ  $J_s$  є функцією на виході блоку КД-ПВПВ і є функцією ВІ  $J_V$  повідомлень переданих ДПВ блоку КД-ПВПВ, а отже може відповідати вихідній кривій боку КД-ПВПВ. ВІ  $I_V$  повідомлень переданих НЦПП ДПВ блоку КД-ПВПВ, можна розрахувати так:

$$J_V = \sum_i \gamma_i I(\sqrt{i} I^{-1}(J_B)). \quad (11)$$

Моделювання діаграми роботи декодеру у відповідності до описаних математичних моделей наведено на рис. 3.

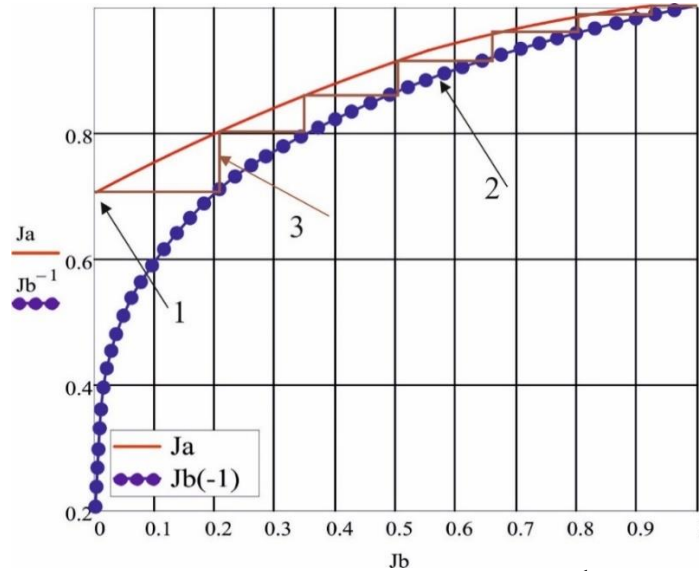


Рис. 3. Діаграма, що характеризує роботу декодеру: 1 – початкова точка; 2 –  $J_B^{-1}$ ; 3 – траєкторія роботи декодеру

На рис. 4 представлено результати математичного моделювання завадостійкості описаного декодера НЦПП-кодів.

Проводилось дослідження НЦПП-коду типу (3, 6) з довжиною кодового слова 12000. Визначалась ймовірність бітової помилки (BER) від відношення сигнал/шум в ТК для зазначеного коду і відповідно нижня (UB) і верхня границі (LB). Дослідження проводилось для 3-, 5- і 10-ти ітерацій.

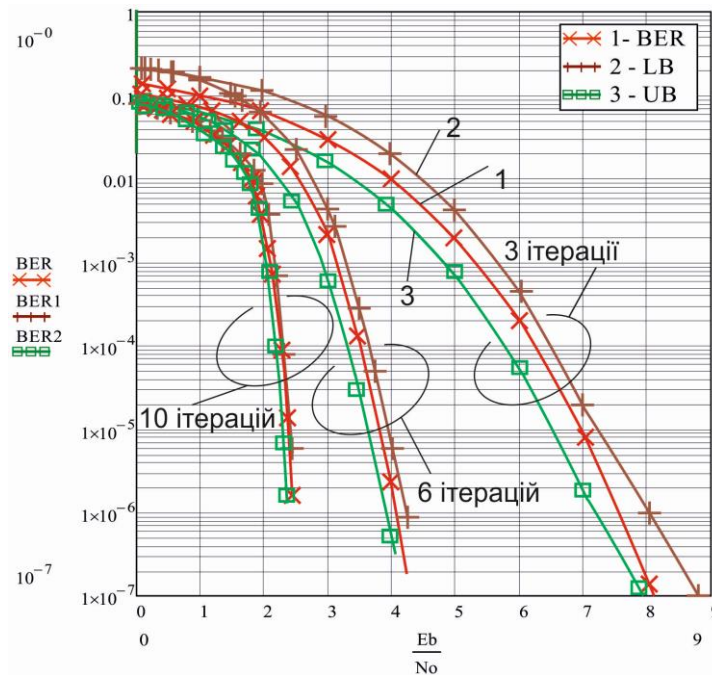


Рис. 4. Залежності завадостійкості для коду НЦПП (довжина 12000) для 3-х, 6-и та 10-и ітерацій: 1 – для ТК; 2 – LB верхня границя; 3 – UB нижня границя

Результати дослідження вказують на значний вплив кількості ітераційних циклів для описаного алгоритму на завадостійкість декодеру. Енергетичний вигравш кодування збільшувався на 4,8 дБ ( $BER=10E-5$ ) при переході від 3 до 10 ітераційних циклів.

## Дослідження ефективності телекомунікаційного каналу з СКК на основі кодів низької щільності перевірок на парність

Для дослідження ефективності телекомунікаційного каналу з НЩПП-кодами проводили моделювання декодера який реалізовано за алгоритмом «сума–добуток» (SPA) із визначенням логарифмічного відношення правдоподібностей (LLR) та використанням матриці перевірки парності [1]. Передбачалось, що дані передавались по каналу з адитивним білим гаусівським шумом (AWGN).

Послідовність виконання кроків алгоритму «сума–добуток» для НЩПП-кодів наступна:

1. Обчислюються усі значення надійності для символів в кодовому слові. Ці значення відповідають для кожного вузла змінної значенню  $m_0$ , як на рис. 4.

На рис. 5 показано вузол змінного ступеню- $d_v$  та схематично показано вхідні та вихідні повідомлення. На рисунку представлено вхід пов'язаний з вузлом і значення якого позначено  $m_0$ . Це значення представляє собою значення надійності введення пов'язане з бітом, що відповідає змінному вузлу який описується в області логарифмічної правдоподібності. Це вхідне значення надійності звичайно обчислюється на основі спостережень каналу.

2. Обнуляють всі повідомлення які приходять з перевірочних вузлів.

3. Обчислюються вихідні повідомлення перемінних вузлів наступним чином.

Кожний перемінний вузол ступеня  $d_v$  як показано на рис. 5 обчислює вихідне повідомлення  $d_v$  наступним чином:

$$m_j^v = m_0 + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{d_v} m_i^v, \quad (12)$$

де  $m_j^v$  – це  $j$ -те вихідне повідомлення, а  $m_i^v$  –  $i$ -те вхідне повідомлення, яке надходить з контрольного вузла. Іншими словами, перемінний вузол обробляє усі повідомлення на своєму вході як незалежне резервування:  $d_v-1$  від перевірочних вузлів, а один,  $m_0$ , відповідає відношенню ймовірності, що пов'язане із зовнішнім спостерігачем. Таке зовнішнє спостереження може бути вибіркою з каналу або може відповідати апріорній інформації щодо відповідного біта.

4. Повідомлення передаються на перевірочні вузли.

5. Обчислюються вихідні повідомлення перевірочних вузлів використовуючи формулу:

$$m_j^c = 2 \operatorname{atanh} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{d_c} \tanh \frac{m_i^c}{2}, \quad (13)$$

де  $m_j^c$  – це  $j$ -те вихідне повідомлення, а  $m_i^c$  –  $i$ -те вхідне повідомлення, що надходить з перемінних вузлів. Аналогічно до випадку з перемінним вузлом, повідомлення, яке надходить з  $j$ -го напрямку не використовується для обчислення вихідного повідомлення на  $j$ -му напрямку. Повідомлення можуть бути інтерпретовані як відношення правдоподібностей (ВП) які пов'язані з перемінними вузлами до яких спрямовано повідомлення.

6. Повідомлення переносяться в перемінні вузли.

7. Потрібно переконатись, що виконується правило зупинки [4]. Якщо виконання немає, переходимо до кроку 2.

8. Розраховуємо остаточне значення надійності використавши наступну формулу:

$$m^v = m_0 + \sum_{i=1}^{d_v} m_i^v, \quad (14)$$

де  $d_v$  – ступінь вузла. Іншими словами, вихідне значення надійності біту кодового слова є сумою усіх повідомлень спрямованих на відповідний перемінний вузол.

Для заданої двійкової випадкової величини  $X$ , яка приймає значення з набору  $\{0, 1\}$ , відношення її правдоподібності  $\mu_X$  визначається як:

$$\mu_X = \frac{P\{X = 0\}}{P\{X = 1\}} \quad (15)$$

і відповідне логарифмічне відношення правдоподібностей:

$$\mathcal{M}_X = \log \mu_X. \quad (16)$$

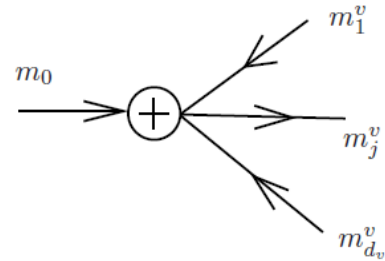


Рис. 5. Схематичне представлення змінного вузла (на рис. 5 показано величини, які приймають участь в обчисленні  $j$ -го вихідного повідомлення)

Таким чином, враховуючи (15) ВП може бути прямо використано для обчислення максимальної апостеріорної ймовірності (МАЙ) оцінки випадкової величини. Фактично, якщо знак ВП є додатним, ймовірність того, що випадкова величина дорівнює 0 більша ніж ймовірність того, що випадкова величина дорівнює 1. І навпаки, якщо знак ВП є від'ємним, ймовірність випадкової величини є меншою ймовірності того, що випадкова змінна дорівнює 1. Отже усі знаки ВП у (15) необхідні для отримання розв'язків по бітам кодового слова. Слід зазначити, що описаний вище алгоритм містить жорстку структуру передачі повідомлень: кожен перемінний вузол обчислює власні повідомлення і тоді усі повідомлення передаються вузлам перевірки які в свою чергу обчислюють усі повідомлення на власних виходах.

Далі усі отримані повідомлення потрапляють знов до перемінних вузлів. Таке планування доцільне у випадку дводольного графу у деревовидній формі яка не містить циклів [2]. У випадку наявності циклів алгоритм становиться неоптимальним. В цьому випадку доцільно використовувати набір процесорів перемінних вузлів як детектор перемінних вузлів (ДПВ) і набір процесорів перевірочних вузлів як детектор перевірочних вузлів (ПВД). Тому процес декодування можна розглядати як ітеративний обмін векторними повідомленнями, які можна інтерпретувати як набір повідомлень між ДПВ та ПВД.

Для нашого випадку отримаємо.

$$\mathcal{M}_x(x_j|y_i) = \frac{2y_j}{\sigma^2}, \tag{17}$$

де  $y_j$  – вхідна м'яка метрика, а  $\sigma^2$  – дисперсія шуму каналу AWGN.

Зв'язки індексів рядків і стовпців в яких містяться одиниці в матриці перевірки парності, представимо у вигляді графа Таннера [1]. На рис. 6 вузлами квадратної форми будемо позначати контрольні вузи, а вузлами у вигляді кола – описані вище перемінні вузли.

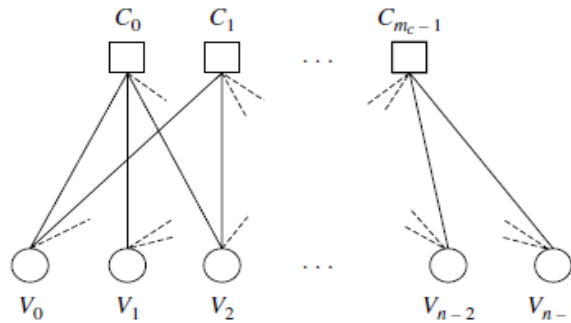


Рис. 6. Схематичне зображення графу зав'язків матриці перевірки парності

Таким чином, сумарний результат повторюється шляхом передачі ВП  $\mathcal{M}_j$  для оновлення контрольних вузлів. Тоді з (12) та (13) отримаємо:

$$\mathcal{M}_{i \rightarrow j} = 2 \tanh^{-1} \left( \prod_{j' \in N(i) - \{j\}} \tanh \left( \frac{1}{2} \mathcal{M}_{j' \rightarrow i} \right) \right), \tag{18}$$

для оновлення перемінного вузла;

$$\mathcal{M}_{i \rightarrow j} = \mathcal{M}_i + \sum_{i' \in N(j) - \{i\}} \mathcal{M}_{i' \rightarrow j}, \tag{19}$$

для отримання декодованого виведення.

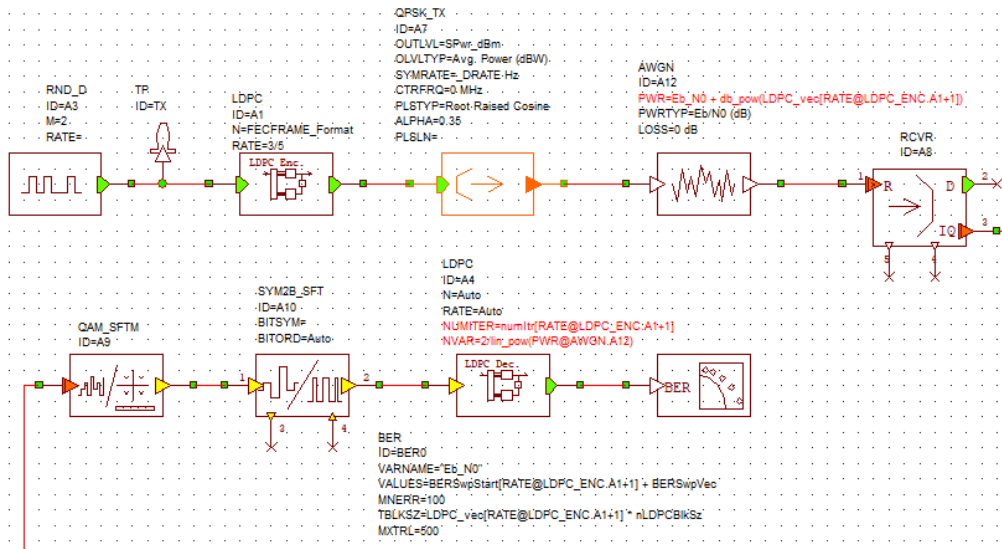


Рис. 7. Імітаційна схема для дослідження кодів НЦПП

На рис. 7 представлено імітаційну схему складену у відповідності до математичних моделей описаних вище. В дослідженні використано кадри  $N$  довжиною 16200 та 64800. Виконувалось 10 ітерацій декодування для підвищення ефективності визначення ймовірності бітової помилки.

У процесі дослідження використано кодові швидкості для кадру довжиною 16200 (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9) для фрейму довжиною 64800 (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). Відповідні графіки завадостійкості наведено на рис. 8.

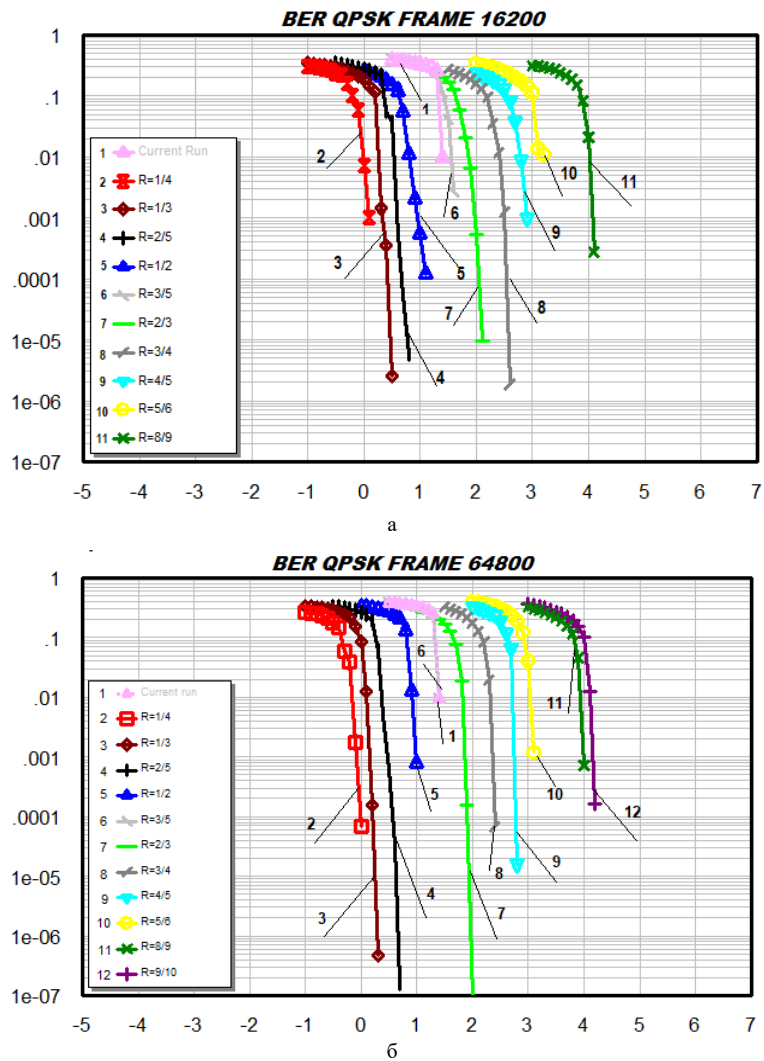


Рис. 8. Залежності завадостійкості кодів НЦПП: а – довжина кадру 16200, б – довжина кадру 64800

Відповідні графічні характеристики сигналів у вигляді констеляційної та спектральної діаграми представлено на рис. 9.

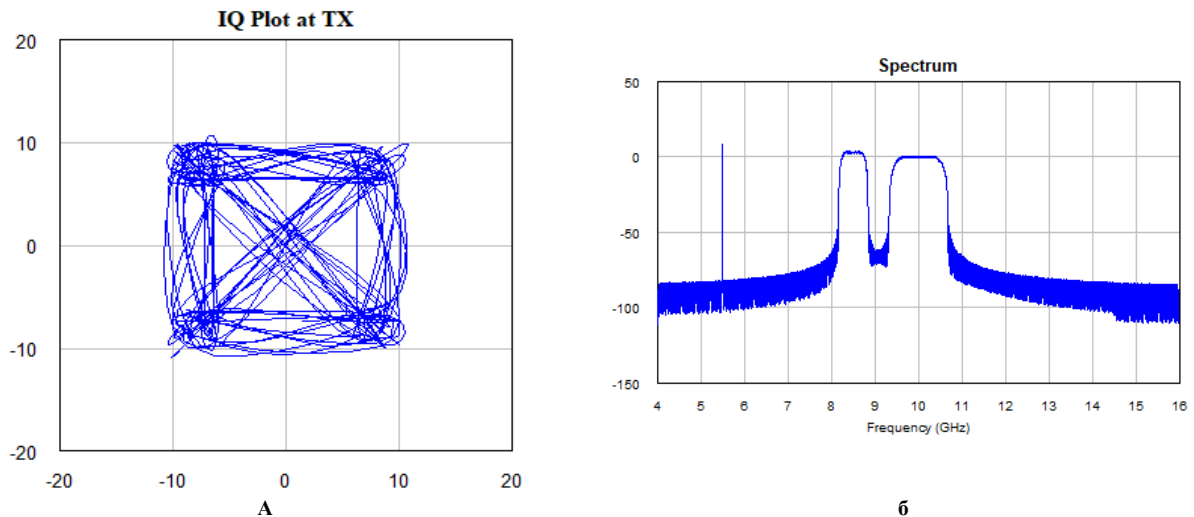


Рис. 9. Характеристики сигналів: а – констеляційна діаграма; б – спектральна діаграма

## Висновки

1. Розглянуто основні характеристики і вимоги до проектування системи зв'язку.
2. Описано можливий сценарій щодо проектування телекомунікаційного каналу на основі кодів НЦПП з застосуванням турбо-підходу.
3. Розглянуто аналітичний опис функції розподілу повідомлень та досліджено діаграми роботи декодера НЦПП-кодів.
4. Представлено результати математичного моделювання завадостійкості визначеної концепції декодера за різної кількості ітераційних циклів. Енергетичний вигравш кодування збільшувався на 4,8 дБ ( $BER=10E-5$ ) при переході від 3 до 10 ітераційних циклів.
5. Проведено моделювання декодера який реалізовано за алгоритмом «сума–добуток» на основі імітаційної схеми телекомунікаційного каналу з НЦПП-кодами.
6. Описано алгоритм функціонування декодера «сума–добуток», визначено, що процес декодування можна розглядати як ітеративний обмін векторними повідомленнями, які можна інтерпретувати як набір повідомлень між ДПВ та ДПВ.
7. Досліджено завадостійкість телекомунікаційного каналу з НЦПП-кодами за різних кодових швидкостей та довжини фрейму. Максимальний енергетичний вигравш кодування склав 4,2 дБ.

## Література

1. Пятін І. С. Дослідження енергетичної ефективності каналного кодування даних користувача кодами LDPC для систем зв'язку 5G / І. С. Пятін, Ю. М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 3. – С. 174–186.
2. J. Bae, A. Abotabl, H. Lin, K. Song, and J. Lee, "An overview of channel coding for 5G NR cellular communications," *APSIPA Trans. on Signal and Inform. Proces.*, 8, E17, June 2019. URL: <https://doi.org/10.1017/ATSP.2019.10>.
3. T.T.B. Nguyen, Tan, T. Nguyen and H. Lee, "Efficient QC-LDPC Encoder for 5G New Radio," *Electronics*, 8, 668, June 2019. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics8060668>.
4. J. Boiko, I. Kovtun and S. Petrashchuk, "Productivity of telecommunication systems with modified signal-code constructions," 2017 IEEE 4th Inter. Scientific-Practical Conf. Problems of Infocom. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, pp. 173–178. URL: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017./8246374>.
5. J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko and M. Stepanov, "Method of the adaptive decoding of self-orthogonal codes in telecommunication," *Indones. Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 19, no. 3, pp. 1287–1296, Sept. 2020. URL: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1287-1296>.
6. Y. Fang, G. Bi, Y. L. Guan and F. C. M. Lau, "A Survey on Protograph LDPC Codes and Their Applications," in *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 1989–2016, Fourthquarter 2015. URL: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2436705>.
7. J. Boiko, O. Eromenko, "Signal Processing in Telecommunications with Forward Correction of Errors," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol.11, no. 3, pp. 868–877, Sept. 2018. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v11.i3.pp868-877>.
8. Бойко Ю.М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад : монографія / Ю.М. Бойко, В.А. Дружинін, С.В. Толюпа. – Київ : Логос, 2018. – 227 с.
9. Бойко Ю.М. Дослідження ефективності алгоритмів каналного кодування в захищених телекомунікаційних системах передавання інформації / Ю.М. Бойко, Д.А. Макаришкін, О.І. Пасічник // Зв'язок: загальногалуз. наук.-вироб. журн. – Київ, 2016. – № 5. – С. 56–67.
10. A. D. Liveris, Z. Xiong and C. N. Georghiadis "Compression of binary sources with side information at the decoder using LDPC codes," *IEEE communications letters*, vol. 6, no. 10, pp. 440–442, 2002.
11. S. Myung, Y. Kyeongcheol, and K. Jaeyoel. "Quasi-cyclic LDPC codes for fast encoding." *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 51, no. 8, pp. 2894–2901, 2005.
12. D. E. Hocavar, "A reduced complexity decoder architecture via layered decoding of LDPC codes." *IEEE Workshop on Signal Processing Systems*, 2004. SIPS 2004. IEEE, 2004.
13. M. Yang, W. E. Ryan, Y. Li, "Design of efficiently encodable moderate-length high-rate irregular LDPC codes," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 52, no. 4, pp. 564–571, 2004.
14. J. Boiko, I. Pyatin and O. Eromenko, "Farrow Interpolator Features in QPSK Telecommunication Devices." 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). IEEE, 2020. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235410.
15. Boiko J.M. Improvements encoding energy benefit in protected telecommunication data transmission channels / J.M. Boiko, A.I. Eromenko // *Communications*. – 2014. – Vol. 2, Iss. 1 (July). – P. 7–14. DOI: 10.11648/j.com.20140201.12.

## References

1. I. Pyatin, J. Boiko, Investigation of energy efficiency of channel coding of user data by LDPC codes for 5G communication systems // *Herald of Khmelnytskyi National University*. – 2020. – № 3. – S. 174–185.

2. J. Bae, A. Abotabl, H. Lin, K. Song, and J. Lee, "An overview of channel coding for 5G NR cellular communications," *APSIPA Trans. on Signal and Inform. Proces.*, 8, E17, June 2019. URL: <https://doi.org/10.1017/ATSIP.2019.10>.
3. T.T.B. Nguyen, Tan, T. Nguyen and H. Lee, "Efficient QC-LDPC Encoder for 5G New Radio," *Electronics*, 8, 668, June 2019. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics8060668>.
4. J. Boiko, I. Kovtun and S. Petrashchuk, "Productivity of telecommunication systems with modified signal-code constructions," 2017 IEEE 4th Inter. Scientific-Practical Conf. Problems of Infocom. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, pp. 173–178. URL: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246374>.
5. J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko and M. Stepanov, "Method of the adaptive decoding of self-orthogonal codes in telecommunication," *Indones. Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 19, no. 3, pp. 1287–1296, Sept. 2020. URL: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1287-1296>.
6. Y. Fang, G. Bi, Y. L. Guan and F. C. M. Lau, "A Survey on Protograph LDPC Codes and Their Applications," in *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 1989–2016, Fourthquarter 2015. URL: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2436705>.
7. J. Boiko, O. Eromenko, "Signal Processing in Telecommunications with Forward Correction of Errors," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol.11, no. 3, pp. 868–877, Sept. 2018. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v11.i3.pp868-877>.
8. Boiko J.M. Teoretychni aspekty pidvyshchennia zavadostiikosti y efektyvnosti obrobky syhnaliv v radiotekhnichnykh prystroiakh ta zasobakh telekomunikatsiinykh system za naiavnosti zavad / J.M. Boiko, V.A. Druzhinin, S.V. Tolyupa. – Kyiv : Lohos, 2018. – 227 s.
9. Boiko J.M. Research into effectiveness of channel coding algorithms in protected telecommunication information transmission systems / J.M. Boiko, D.A. Makarishkin, O.I. Pasichnyk // *Zviyazok : zahalnohaluz. nauk.-vyrob. zhurn.* – Kyiv, 2016. – № 5. – S. 56–67.
10. D. Liveris, Z. Xiong and C. N. Georghiades "Compression of binary sources with side information at the decoder using LDPC codes," *IEEE communications letters*, vol. 6, no. 10, pp. 440–442, 2002.
11. S. Myung, Y. Kyeongcheol, and K. Jaeyoel. "Quasi-cyclic LDPC codes for fast encoding." *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 51, no. 8, pp. 2894–2901, 2005.
12. D. E. Hocevar, "A reduced complexity decoder architecture via layered decoding of LDPC codes." *IEEE Workshop on Signal Processing Systems*, 2004. SIPS 2004. IEEE, 2004.
13. M. Yang, W. E. Ryan, Y. Li, "Design of efficiently encodable moderate-length high-rate irregular LDPC codes," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 52, no. 4, pp. 564–571, 2004.
14. J. Boiko, I. Pyatin and O. Eromenko, "Farrow Interpolator Features in QPSK Telecommunication Devices." 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). IEEE, 2020. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235410.
15. Boiko J.M. Improvements encoding energy benefit in protected telecommunication data transmission channels / J.M. Boiko, A.I. Eromenko // *Communications.* – 2014. – Vol. 2, Iss. 1 (July). – P. 7–14. DOI: 10.11648/j.com.20140201.12.

Рецензія/Peer review : 05.10.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.

## РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ

Запропоновано схему процесу цифрового генерування періодичного сигналу на базі прямого методу синтезу частоти та наведений опис роботи цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти. В середовищі Quartus розроблено та досліджено функціональну схему цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти. Представлені осцилограми, які підтверджують працездатність розробленого цифрового генератора періодичних сигналів на програмованих логічних схемах (ПЛІС). Наведені технічні характеристики, які вказують на те, що завдяки наявності апаратного помножувача у схемі цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти максимальна частота вихідного синусоїдального сигналу на тактовій 64 МГц може досягати 32 МГц.

Ключові слова: цифровий генератор, періодичний сигнал, прямий метод синтезу частоти, цифро-аналогове перетворення.

## IMPLEMENTATION OF DIGITAL GENERATOR OF PERIODIC SIGNALS ON PROGRAMMED LOGICAL DEVICES

The main purpose of the digital oscillator is the formation of periodic signals of various shapes. Modern digital oscillators based on the direct method of frequency synthesis operate in the range from a fraction of hertz to tens and hundreds of gigahertz. They are used in equipment of different function, replacing it with simple auto-oscillators. At the same time, such oscillators are characterized by all the disadvantages of digital signal processing devices: quantization noise, overlaying of spectra of a digital signal, limited upper working frequency. Therefore, the development of digital oscillators of periodic signals based on the direct method of frequency synthesis using multipliers that would occupy an intermediate position among the known and characterized by a simple and non-expensive implementation scheme is today relevant. The equation of transformation of the process of digital generation of the periodic signal on the basis of the direct method of frequency synthesis is found and the algorithm of the process of digital generation of the periodic signal on the basis of the direct method of frequency synthesis has two conditions: the first condition leads to an increase in phase increase, and the second - to a decrease. A direct method of frequency synthesis for digital generation of a high-frequency periodic signal has been further developed, in which, in contrast to the existing one, clock frequency multiplication is used, which allows to increase the frequency of the output periodic signal by 2–4 times. The scheme of the process of digital generation of the periodic signal on the basis of the direct method of frequency synthesis is offered and the description of operation of the digital generator of the periodic signals on the basis of the direct method of frequency synthesis is given. In the Quartus environment the functional scheme of the digital generator of periodic signals on the basis of a direct method of frequency synthesis is developed and investigated. The work of functional blocks included in the digital generator: adder, register, frequency divider, reversing counter, transcoding tables, control circuits, digital-to-analogue converter were investigated. Presenting oscillograms, which confirm the functional capacity of the functional units. Digital part of the circuit of the digital generator is made on the programmable logic devices of the series MAX II EPM1270F256C5. Based on the developed method, a high-frequency digital periodic signal generator based on the FPGA EPM1270F256C5 MAX II series from Intel (Altera) was created, which generates a sinusoidal signal with a frequency value of 0.1 Hz to 32 MHz at a clock frequency of 64 MHz.

Keywords: digital oscillator, periodic signal, direct digital synthesis, digital-to-analogue conversion.

### Вступ

Сучасні цифрові генератори на базі прямого методу синтезу частоти працюють у діапазоні від одиниць герц до десятків і сотень гігагерц. Вони використовуються в апаратурі різного призначення, замінюючи в ній прості автогенератори. Така заміна дає наступні переваги:

- істотно підвищується точність налаштування і стабільність частоти;
- спрощується процес налаштування апаратури;
- з'являється можливість програмного пере налаштування частоти і істотно збільшується швидкість зміни робочої частоти;
- відкриваються нові можливості цифрового формування модульованих радіосигналів;
- у деяких схемах синтезаторів вдається покращити спектральну чистоту сигналів у порівнянні зі звичайними автогенераторами;
- покращуються масогабаритні характеристики і надійність пристрою.

Разом з тим, таким генераторам властиві всі недоліки цифрових пристроїв обробки сигналів: шум квантування, накладення спектрів цифрового сигналу, обмежена верхня робоча частота [1]. Тому розробка цифрових генераторів періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти з використанням помножувачів [2], які б зайняли проміжне положення серед відомих та характеризувались нескладною та не високошвидкісною схемою реалізації є на сьогодні актуальним.

### Експериментальна частина

Суть прямого методу полягає в послідовному збільшенні приросту фази [3]. Згідно зі схемою, представленою на рис. 1, процес генерування розпочинається з формування кодів приросту фази з частотою, яка еквівалентна опорній і визначається як:



$$F_k = \frac{F_0}{q}, \quad (1)$$

де  $F_0$  – опорна частота, а  $q$  – коефіцієнт ділення.

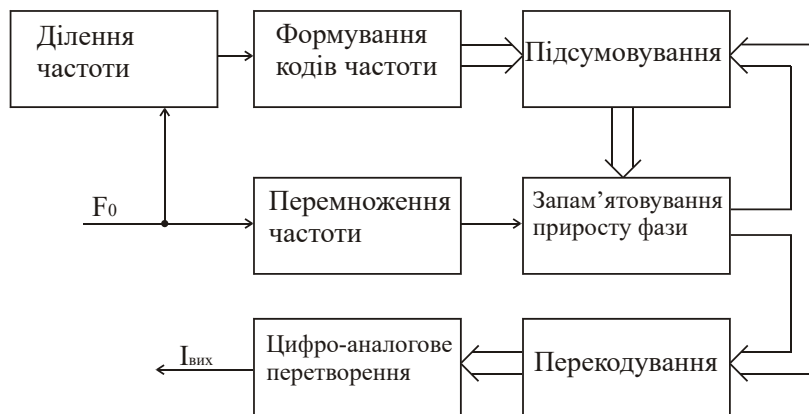


Рис. 1. Схема процесу цифрового генерування періодичного сигналу на базі прямого методу синтезу частоти

Процес формування кодів приросту фази можна описати рівнянням:

$$S_i = S_{i-1} \pm 2^n, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість імпульсів, що надійшла на реверсивний лічильник,  $S_{i-1}$  – попереднє значення коду приросту фази.

Одночасно з процесом ділення опорної частоти відбувається і її перемноження:

$$F_T = F_0 C, \quad (3)$$

де  $C$  – коефіцієнт перемноження.

На наступному етапі відбувається підсумовування кодів приросту фази, яке можна представити рівнянням:

$$P_i = P_{i-1} + S_i, \quad (4)$$

де  $C$  – коефіцієнт перемноження,  $P_{i-1}$  – цифровий код, який збережено під час запам'ятовування приросту фази.

Під час перекодування відбувається переведення кодів приросту фази у цифрові відліки миттєвих значень періодичного сигналу. Цей процес можна описати формулою:

$$D = K(P_i), \quad (5)$$

де  $K$  – функція перетворення.

У процесі цифро-аналогового перетворення відбувається перетворення цифрових значень відліків миттєвих значень періодичного сигналу у струм. Амплітуду струму вихідного періодичного сигналу можна знайти з виразу [4]:

$$I_{out} = \frac{U_0}{R} \cdot D, \quad (6)$$

де  $U_0$  – опорне значення напруги,  $R$  – опір резистора ЦАП.

Підставивши вирази 2, 4 і 5 у вираз 6 отримаємо рівняння перетворення для процесу цифрового генерування періодичного сигналу на базі прямого методу синтезу частоти:

$$I_{out} = \frac{U_0}{R} \cdot K(P_{i-1} + S_{i-1} \pm 2^n). \quad (7)$$

У відповідності до рівняння перетворення (7) та алгоритму розроблена функціональна схема процесу цифрового генерування періодичного сигналу на базі прямого методу синтезу частоти (рис.2) та представлені осцилограми (рис. 3), які отримано в середовищі Quartus II [5] і підтверджують працездатність розробленого пристрою.

Принцип роботи схеми полягає в наступному. Тактова частота, розділена на  $q$ , через логічний елемент *AND2*, надходить на реверсивний лічильник *count20*. Якщо на вхід plus реверсивного лічильника *count20* подано високий рівень, то відбувається збільшення двійкового коду на його виході. Якщо ж високий рівень подано на вхід minus, то зменшення. Ділення частоти відбувається за допомогою лічильника *count1024*. Двійковий сигнал з реверсивного лічильника *count20* надходить на вхід суматора *adder*. В суматорі відбувається додавання двійкового коду, який прийшов з реверсивного лічильника *count20* з двійковим кодом, який зберігається в регістрі *reg*. При цьому значення двійкового коду в регістрі *reg*

поновлюється з таковою частотою, помноженою на коефіцієнт  $C$ . За допомогою модуля  $fx6$ , виконаного на  $D$ -тригерах, відбувається помноження тактової частоти в 4 рази. Разом з тим двійковий код з семи старших розрядів регістра  $reg$  надходить на вхід дешифратора  $funcTAB7x6$ . Залежно від двійкового коду на входах дешифратора  $sinaw$  і  $square$  на виході дешифратора формуються цифрові відліки миттєвих значень сигналів: синусоїдальний, прямокутний і пилоподібної форми. Формування двійкового коду на входах дешифратора  $sinaw$  і  $square$  відбувається за допомогою дворозрядного лічильника, який зібрано на двох  $D$ -тригерах.

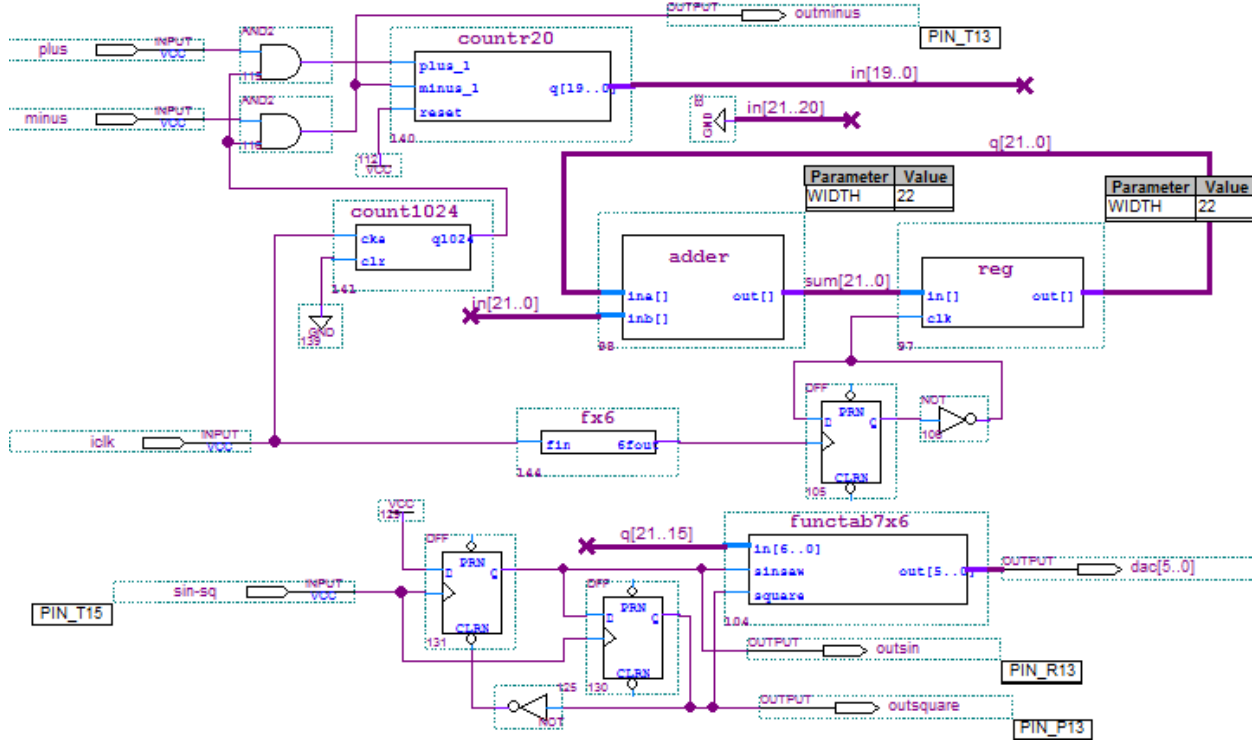


Рис. 2. Функціональна схема цифрового генератора періодичного сигналу на базі прямого методу синтезу частоти

З виходу  $dac[5..0]$  дешифратора  $funcTAB7x6$  двійковий код надходить на ЦАП, де перетворюється в аналогове значення періодичного сигналу.

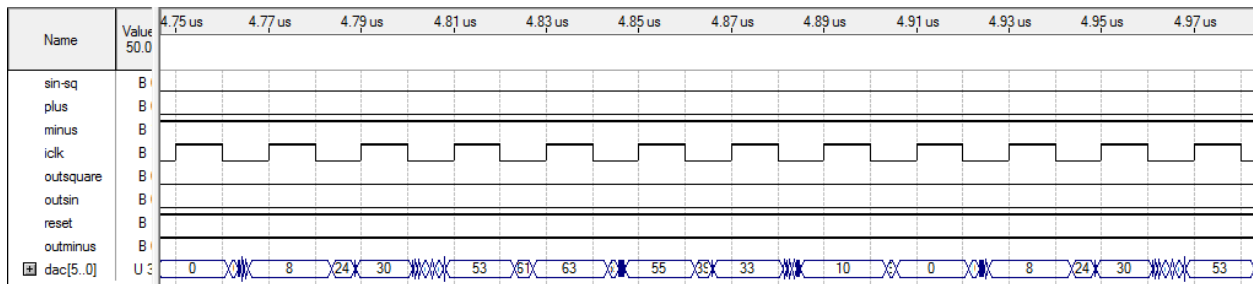


Рис. 3. Осцилограми сигналів, що пояснюють принцип роботи функціональної схеми

Технічні характеристики цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти, який практично реалізовано на платі фірми «Altera» MAX II Development board представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Технічні характеристики розробленого цифрового генератора періодичних сигналів**

Характеристика	Значення
Тактова частота	64 МГц
Максимальна частота вихідного сигналу	32 МГц
Форма вихідного сигналу	Синусоїда/Трикутник/Прямокутник
Кількість розрядів акумулятора фази	22 bit
Кількість розрядів ЦАП	6 bit

З таблиці 1 видно, що завдяки наявності апаратного помножувача у схемі цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти максимальна частота вихідного синусоїдального сигналу на тактовій 64 МГц може досягати 32 МГц. В якості ЦАП використано 6-розрядну резистивну матрицю R2R.

### Висновки

1. Знайдене рівняння перетворення процесу цифрового генерування періодичного сигналу на базі прямого методу синтезу частоти та розроблено алгоритм процесу цифрового генерування періодичного сигналу на базі прямого методу синтезу частоти, який має дві умови: перша веде до збільшення приросту фази, а друга – до зменшення.

2. Набув подальшого розвитку прямий метод синтезу частоти для цифрового генерування періодичного сигналу високої частоти, в якому на відміну від існуючого застосовано помноження тактової частоти, що дозволяє підвищити частоту вихідного періодичного сигналу у 2–4 рази.

3. На основі розробленого методу створено високочастотний цифровий генератор періодичного сигналу, що реалізовано на основі ПЛІС EPM1270F256C5 серії MAX II фірми «Intel» (Altera), який здійснює генерування сигналу синусоїдної форми, значення частоти якого становить від 0,1 Гц до 32 МГц при значенні тактової частоти 64 МГц.

### Література

1. Манасевич В. Синтезаторы частот (Теория и проектирование) / В. Манасевич ; пер. с англ. ; под ред. А. С. Галина. – М. : Связь 1979. – 394 с.

2. Петрушак В.С. Розробка каскадних помножувачів частоти для цифрового генератора на базі прямого методу синтезу частоти / В.С. Петрушак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 2. – С. 248–251.

3. Петрушак В.С. Розробка цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти і дослідження роботи його функціональних блоків / В.С. Петрушак, С.В. Самолюк // Вісник Хмельницького національного університету. – № 6. – С. 187–190.

4. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс) / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. – М. : Горячая Линия-Телеком, 1999. – 768 с.

5. Quartus II Subscription Edition [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/downloads/software/quartus-ii-se/91.html?wapkw=quartus%20ii>

### References

1. Manassevich V. Sintezatory chastot (Teoriya i proektirovanie) / V. Manasevich ; per. s angl. ; pod red. A. S. Galina. – M. : Svyaz 1979. – 394 s.

2. Petrushak V.S. Rozrobka kaskadnykh pomnozhuвачiv chastoty dlia tsyfrovoho heneratora na bazi priamoho metodu syntezy chastoty / V.S. Petrushak // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2018. – № 2. – S. 248–251.

3. Petrushak V.S. Rozrobka tsyfrovoho heneratora periodychnykh syhnaliv na bazi priamoho metodu syntezy chastoty i doslidzhennia roboty yoho funktsionalnykh blokov / V.S. Petrushak, S.V. Samoliuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – № 6. – S. 187–190.

4. Opadchij Yu.F. Analogovaya i cifrovaya elektronika (Polnyj kurs) / Yu.F. Opadchij, O.P. Gludkin, A.I. Gurov. – M. : Goryachaya Liniya-Telekom, 1999. – 768 s.

5. Quartus II Subscription Edition [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/downloads/software/quartus-ii-se/91.html?wapkw=quartus%20ii>

Рецензія/Peer review : 19.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.

П.Ф. РОБУЛЕЦЬ, Д.А. ВОВЧУК, С.Д. ГАЛЮК, Л.Ф. ПОЛІТАНСЬКИЙ  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

## ПРИСТРІЙ МОДУЛЯЦІЇ АНАЛОГОВИХ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ ШЛЯХОМ НЕПЕРЕРВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КІЛЬЦЕВИХ РЕЗОНАТОРІВ

У роботі запропоновано та досліджено пристрій амплітудної модуляції з використанням розрізного кільцевого резонатора (РКР), навантаженого варакторним діодом. Процес модуляції відбувається шляхом неперервної зміни ємності варакторного діоду через зміну напруги зміщення на варакторному діоді. У якості напруги зміщення використовується модулюючий сигнал. Джерелом носійного сигналу є додаткова магнітна антена, що взаємодіє через близьке магнітне поле із РКР. Експериментальні дослідження проведено для гармонічного модулюючого сигналу. Показано, що при використанні варакторного діоду SMV1231 значення частоти носійного коливання можна вибирати із діапазону 0.95...1.11 ГГц. Приведено часову діаграму модульованого сигналу та спектральну характеристику відновленого гармонічного сигналу частотою 5 МГц. Перевагами запропонованого способу модуляції є проста конструкція пристрою модуляції. Результати проведених досліджень можуть бути корисними під час виготовлення радіокомпонентів низької вартості.

Ключові слова: амплітудна модуляція, варакторний діод, розрізний кільцевий резонатор.

P.F. ROBULETS, D.A. VOVCHUK, S.D. HALIUK, L.F. POLITANSKYI  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

## AMPLITUDE MODULATION DEVICE OF ANALOGUE HARMONIC SIGNALS BY CONTINUOUS TUNING OF SPLIT-RING RESONATOR PARAMETERS

The principle of amplitude modulation is proposed and studied in the paper based on a split ring resonator loaded by a varactor diode. It is one of the variants to tune the parameters of split ring resonator. A split ring resonator belongs to the class of metamaterials with negative value of permeability. The simplicity of construction and a number of possible variations of tuning of its parameters the split ring resonators are the topical thing of investigations. In our case the modulation is possible through the continuing tuning of reverse voltage of varactor diode by low frequency analogue signal. The voltage variation changes the capacitance of a varactor diode and at the same time the total value of capacitance of resonator. This analogue signal is the modulation signal that plays a role of an information signal. The carrier oscillation is generated by high frequency signal generator and it is transferred via magnetic loop antenna that interacts with split-ring resonator via strong near field. The value of carrier signal frequency (modulated signal) corresponds to the value of resonance frequency of the split-ring resonator. By utilizing of the varactor diode SMV1231 the value of carrier signal frequency can be picked up from the range of 0.95-1.11 GHz. It is defined experimentally by changing the varactor capacitance. The time diagram and the spectral characteristic of the demodulated signals are shown for the modulation signal of 5 MHz. However, we have experimentally established that there is the possibility to increase the value of frequency of the modulation signal up to approximately 20 MHz. It is restricted by physical properties of the used varactor diode series. The suggested approach for the frequency modulator realization is very simple, low-cost and allows elementary to control and tune the output characteristics.

Keywords: amplitude modulation, varactor diode, split-ring resonator.

### Вступ

Діелектрична та магнітна проникність природних матеріалів приймає строго додатні та більші за одиницю (окрім вакууму) значення. До метаматеріалів відносять штучні структури, які реалізуються поєднанням природних матеріалів та елементів на їх основі з метою отримання нових фізичних властивостей, зокрема метаматеріалом притаманне від'ємне значення діелектричної і/або магнітної проникності [1]. РКР є одним із видів метаматеріалів, що характеризується від'ємним значенням магнітної проникності [2, 3].

Існує велика кількість підходів до реалізації кільцевих резонаторів, з подальшим їх використанням у діапазоні частот довжиною хвилі від см-розмірів у радіо- і до нм-розмірів у оптичному діапазоні частот [4–6]. Для виготовлення РКР з робочими параметрами у мікрохвильовому діапазоні частот використовується метод хімічного травлення на діелектричній підкладці. Такі РКР-структури характеризуються високим рівнем чутливості, що уможливує їх використання як сенсорних елементів у різних пристроях, зокрема для детектування рідин [7], моніторингу стану органічних тканин [8], елементів вимірювання діелектричної проникності матеріалів [9] та ін. Такі пристрої можуть містити масиви РКР, так звані метаповерхні [6, 7], або одиночні РКР, якими модифікуються мікросмушкові лінії передавання [5].

Всі приведені застосування РКР можливі завдяки зміні їх форми, а саме кількості кілець, ширини мікросмужок, величини зазорів та впливних у зазори додаткових конденсаторів [10]. Маніпуляція вищезазначеними параметрами дозволяє змінювати значення параметрів РКР в цілому, тобто уможливує зміну амплітудно-частотних характеристик метаструктури.

Принцип зміни амплітудно-частотних характеристик коливального контуру можуть використовуватись для забезпечення амплітудної чи частотної модуляції. Фізичні розміри елементів метаматеріалу задаються наперед, тому їх зміну в часі досить важко реалізувати. Наприклад, у [11] запропоновано метаматеріал, що складається із асиметричних кільцевих резонаторів, що забезпечують керування резонансними частотами завдяки механічній зміні своєї форми під впливом термічних процесів у інфрачервоному діапазоні частот; у [12] показано залежність зміни резонансних станів при механічному

розтягування кільцевих резонаторів. У оптичному діапазоні частот досить перспективним та надійним, хоча і більш вартісним є виготовлення гібридних систем модуляції з використанням РКР модифікованих нанесенням додаткового шару графену, де вихідний сигнал безпосередньо залежить від магніто-оптичного відгуку структури [13]. Такі способи впливу на матеріал є досить незручними та характеризуються низьким рівнем надійності при їх реалізації у діапазоні радіочастот.

Найбільш зручним способом керування параметрами структури на основі РКР є зміна значення їх ємності в часі шляхом перемикавання конденсаторів між двома станами за допомогою транзисторів чи фотоелементів, які працюють у ключовому режимі, що забезпечує так звану on/off-модуляцію [14, 15]. Проте, актуальним та досить практичним на сьогоднішній день є використання варакторних діодів, що здатні змінювати ємність під впливом прикладеної до них зовнішньої напруги у заданому неперервному діапазоні значень [16]. Такий підхід застосовується для виготовлення фільтрів [17], on/off-металповерхонь [18, 19] тощо.

**Метою роботи** є реалізація амплітудної модуляції аналогових сигналів шляхом неперервного регулювання ємнісних характеристик РКР під впливом гармонічного НЧ коливання.

### Опис основних параметрів кільцевих резонаторів

Типові РКР складаються із двох відокремлених кілець радіусом  $R_{out} = (R_{out1} - R_{in1})/2$  and  $R_{in} = (R_{out2} - R_{in2})/2$ , де  $R_{out1}$  та  $R_{in1}$  – це зовнішній та внутрішній радіуси більшого кільця, а також  $R_{out2}$  та  $R_{in2}$  – зовнішній та внутрішній радіуси меншого кільця;  $w_1 = R_{out1} - R_{in1}$  та  $w_2 = R_{out2} - R_{in2}$  – ширина зовнішнього та внутрішнього кілець РКР, відповідно (рис. 1а). Відстань між зовнішнім та внутрішнім кільцями РКР  $s = R_{out2} - R_{in1}$ . Зазори  $g$  кожного з кілець розташовані один навпроти одного та повернуті на  $180^\circ$ . Звичайні низькопрофільні кільцеві резонатори виготовляються на діелектричній підкладці висотою  $h$  та діелектричною проникністю  $\epsilon$  як показано на рис. 1а.

Еквівалентна схема РКР представляє собою звичайний коливний контур з індуктивністю  $L$  та двома однаковими (за умови, якщо два розрізи  $g$  є однаковими) послідовно ввімкненими ємнісними елементами  $C_0/2$ , як наведено на рис. 1б.

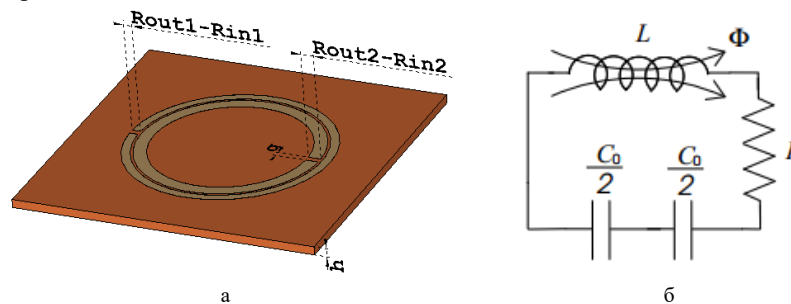


Рис. 1. Звичайний РКР на діелектричній підкладці (а) та його еквівалентна схема, що включає реактивні компоненти – індуктивність  $L$  і дві послідовно ввімкнені ємності  $C_0/2$  (б)

### Експериментальні дослідження

Запропонований пристрій модуляції сигналів приведений на рис. 2а. Коливальний контур, що складається із компонентів  $C1-L1-VD$ , відповідає еквівалентній схемі РКР (рис. 1б), де один із конденсаторів замінений варакторним діодом  $VD$ . Джерелом модулюючого сигналу  $m(t) = \cos(2\pi f_m t)$ , де  $f_m$  – частота модулюючого сигналу, який може розглядатись як аналоговий інформаційний сигнал, є генератор  $MS$ . Цей генератор задає змінні в часі значення напруги на варакторному діоді, змінюючи загальне значення ємності РКР в часі. Джерелом носійного сигналу  $M(t) = \cos(2\pi f_n t)$ , де  $f_n$  – частота носійного сигналу, є генератор ВЧ коливань  $CS$ . Вихідний сигнал генератора  $CS$  подається на порт 1 циркулятора та через порт 2 подається на котушку індуктивності  $L2$ , а далі через магнітну взаємодію котушок індуктивності  $L1$  та  $L2$  вводиться в коливальний контур РКР. Модульований сигнал радіочастотного діапазону  $S(t)$  знімається котушкою індуктивності  $L2$  та через порт 3 поступає на вихід модулятора та подається у канал зв'язку.

Експериментальна установка пристрою модуляції приведена на рис. 2б та складається із РКР, під'єданого до генератора НЧ сигналів та взаємодіє із магнітною рамковою антеною. Генератор НЧ сигналів, що може розглядатись як джерело інформації, використано для задання напруги на варакторному діоді, що припаяний у відповідний зазор РКР. Розміщення магнітної антени у зоні близько-польової взаємодії із РКР дає змогу детектувати електричний струм, що протікає у РКР. Циркулятор використовувався для передавання носійного ВЧ-сигналу на магнітну рамкову антену та далі в канал зв'язку, принцип підключення яких наведений на рис. 2в.

На першому етапі експериментальних досліджень було визначено діапазон значень напруги зміщення, в якому можна використовувати вибраний варакторний діод. Дослідження проводились через оцінку  $S_{11}$ -параметрів. Для цього магнітну рамкову антену було з'єднано із одним із портів PNA Network Analyzer. Шляхом лінійного збільшення напруги зміщення, що задавалась із генератора  $MS$ , встановлено, що робочий діапазон значень напруги зміщення становить  $\Delta U = -4,0 \dots 3,0$  В призводить до зміни значення ємності варакторного діоду  $\Delta C = C_{Umin} \dots C_{Umax} = 2,35 \dots 0,534$  пФ та забезпечує робочу смугу частот  $\Delta f = 0,95 \dots 1,11$  ГГц (рис. 3). Для експериментальних досліджень вибрано  $f_n = 1$  ГГц.

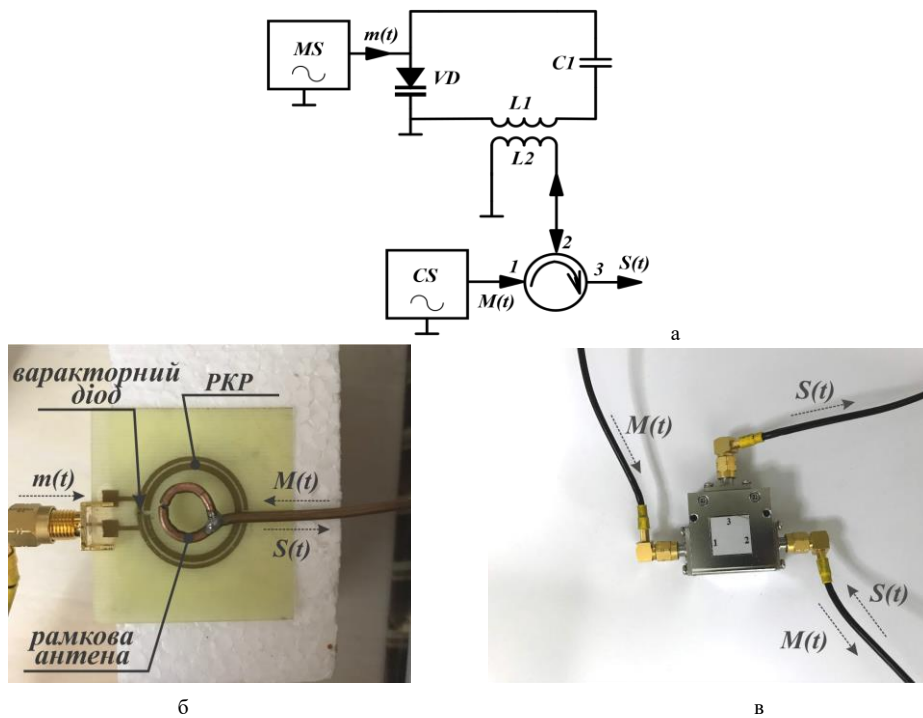


Рис. 2. Електрична принципова схема запропонованого пристрою модуляції (а),

експериментальний зразок пристрою введення модулюючого (інформаційного) сигналу, що задає напругу зміщення на варикторний діод РКР та носійного магнітну рамкову антену сигналів (б), а також принцип підключення циркулятора (в). На рисунку MS – генератор модулюючого сигналу (джерело інформаційного сигналу  $m(t)$ ), CS – генератор носійного сигналу ( $M(t)$ ), VD – варикторний діод, C1 і L1 – еквівалентна ємність та індуктивність РКР, а також L2 – еквівалентна індуктивність магнітної рамкової антени;  $S(t)$  – вихідний модульований сигнал радіочастотного діапазону

Виходячи із отриманих співвідношень діапазону значень напруги та робочого діапазону частот, для експериментальних досліджень модуляції гармонічних сигналів, верхнє та нижнє значення амплітуди синусоїдального колювання генератора MS становили 3 В і -4 В, відповідно. Часову діаграму модульованого сигналу при частоті модулюючого сигналу 5 МГц наведено на рис. 4, а. Максимальне значення частоти модуляції сигналу може досягати приблизно 20 МГц, та обмежується верхньою частотою перемикання варикторних діодів, що підтверджено експериментальним шляхом.

Часові діаграми демодульованих  $I(t)$  та  $Q(t)$  сигналів зі значенням частоти модулюючого сигналу 5 МГц, а також спектральна характеристика демодульованого сигналу наведено на рис. 4, б у вигляді зображення із монітору осцилографа. У спектральній характеристиці демодульованого сигналу міститься основна гармоніка на частоті модулюючого сигналу  $f_m$ , а також гармоніка на частоті  $2f_m$ . Друга складова може відсікатись шляхом використання НЧ фільтрів у вихідному каскаді пристрою демодуляції.

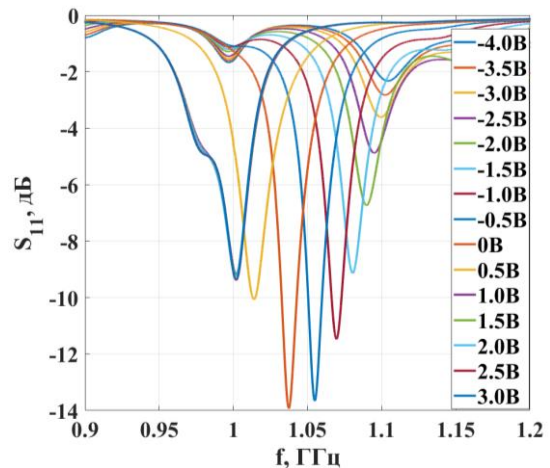
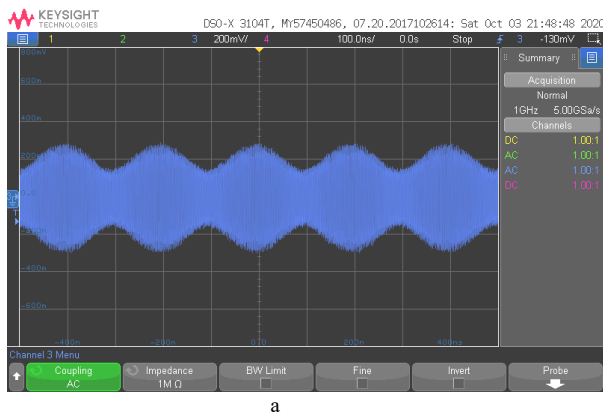
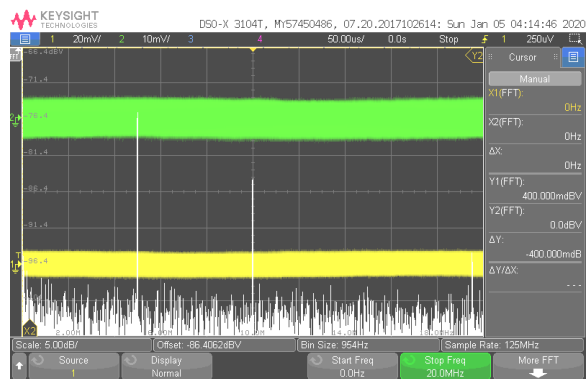


Рис. 3. Експериментально отримана залежність значень  $S_{11}$ -параметрів, що визначає робочий діапазон напруги зміщення та відповідний робочий діапазон частот отриманого модульованого сигналу



а



б

Рис. 4. Часова діаграма модульованого сигналу (а) та спектральна характеристика демодульованого сигналу (б) частотою 5 МГц

**Висновки**

У роботі запропоновано новий підхід до реалізації пристрою амплітудної модуляції на основі кільцевих резонаторів, навантажених варакторним діодом. Принцип роботи полягає в зміні значення напруги модулюючого НЧ сигналу, що зумовлює зміну значення ємності варакторного діоду і призводить до зміни амплітудно-частотних характеристик резонуючого контуру і, відповідно, модуляції носійного ВЧ сигналу.

Дослідження показали, що запропонований пристрій здатний здійснювати модуляцію гармонічних сигналів максимальним значенням верхньої частоти до 20 МГц. Значення частоти носійного сигналу згідно з отриманими частотними характеристиками S11-параметрів та відповідає частоті резонансу РКР.

Запропонований пристрій амплітудної модуляції є компактним та простим у реалізації, здатним до варіації та забезпечення необхідних характеристик та конструктивних параметрів.

**Література**

1. Veselago V. G. The Electrodynamics of Substances with Simultaneously negative Values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . *Soviet Physics Uspekhi*, 1967 vol. 10, iss. 4, pp. 509–514.
2. Marques R., Medina F., and Rafii-el-Idrissi R. Role of bianisotropy in negative permeability and left-handed metamaterials. *Physical Review B*, 2002, vol. 65, pp. 144440 (1–6).
3. Freire M. J., Marques R., Jelinek L. Experimental demonstration of a  $\mu = -1$  metamaterial lens for magnetic resonance imaging. *Applied Physics Letters*, 2008, iss. 93, pp. 231108 (1–4).
4. Zheludev N.I., Kivshar Yu. S. From metamaterials to metadevices. *Nature Materials*, 2012, vol. 11, pp. 917–924.
5. Girich A.A. Left-Handed Metamaterial based on the Complementary Split-Ring Resonators Tuned with Varactor Diodes. *Ukrainian Journal of Physics*, 2017, vol. 62, iss. 10, pp. 903–907.
6. Imade Y., Ulbricht R., Tomoda M., Matsuda O., Seiutinas G., Juodkazis S., Wright O.B. Gigahertz Optomechanical Modulation by Split-Ring-Resonator Nanophotonic Meta-Atom Array. *Nano Letters*, 2017, vol. 17, iss. 11, pp. 1–10.
7. Salim A., Lim S. Complementary Split-Ring Resonator-Loaded Microfluidic Ethanol Chemical Sensor. *Sensors*, 2016, vol. 16, iss. 1802.
8. Puentes M., Schubler M., Jakoby R. 2D sensor array based on Split Ring Resonators for monitoring of organic tissue. *Sensors*, 2011, pp. 272–275.
9. Ebrahimi A., Withayachumnankul W., Al-Sarawi S., Abbott D. High-sensitivity metamaterial-inspired sensor for microfluidic dielectric characterization. *IEEE Sensors Journal*, 2014, vol. 14, iss. 5, pp. 1345–1351.
10. Aydin K., Bulu I., Guven K., Kafesaki M., Soukoulis C. M., Ozbay E. Investigation of magnetic resonances for different split-ring resonator parameters and design. *New Journal of Physics*, 2005, vol. 7, iss. 168, pp. 1–15.
11. Wang Q., Mao D., Dong L. Thermomechanically Tunable Infrared Metamaterials Using Asymmetric Split-Ring Resonators. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2017, vol. 26, no. 6, pp. 1186–1188.
12. Liu P. et al. Tunable meta-atom using liquid metal embedded in stretchable polymer. *Journal of Applied Physics*, 2015, vol. 118, no. 1, p. 014504.
13. Ye-xin S., Jiu-sheng L., Le Z. Graphene-integrated split-ring resonator terahertz modulator. *Optical and Quantum Electronics*, 2017, vol. 49, iss. 350, pp. 1–9.
14. Liang Y., Boon Ch., Li Ch. et. Design and Analysis of D-Band On-Chip Modulator and Signal Source Based on Split-Ring Resonator. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems*, 2019, vol. 27, iss. 7, pp. 1513–1526.
15. Liang Y., Yu H., Zhang W., Lin F. CMOS Sub-THz On-Chip Modulator by Stacked Split Ring Resonator with High-extinction Ratio. *IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology*, 2015, pp. 67–69.
16. Baraclough M., Hooper I. R., Barnes W. L. Investigation of the coupling between tunable split-ring resonators. *Physical Review B*, 2018, vol. 98, 085146 (1–6).
17. Schuster Ch. Fast and Accurate Tuning of a Cross-Coupled Split-Ring Resonator Filter. *11th German Microwave Conference (GeMiC-2018)*, Freiburg, Germany, March 12–14, 2018, pp. 134–137.
18. Kitayama D., Yaita M., Song H.-J., Nosaka H. High-Speed and High-ON/OFF Ratio Split-Ring-Resonator-Based Active Metamaterial using Varactor Diodes. *41st International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz)*, Copenhagen, 2016, pp. 1–2.
19. Silva S. R., Shields A. D., Zhou J. Tunable Optical Bistability and Optical Switching by Nonlinear Metamaterials. 2017. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1705/1705.07719.pdf>.

М.О. СЛОБОДЯН, А.А. ТАРАНЧУК, В.Є. ГАВРОНСЬКИЙ  
Хмельницький національний університет

## ГЕНЕРУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Стаття присвячена математичному моделюванню генератора широкосмугових хаотичних коливань на основі класичної нелінійної динамічної системи Лоренца. На базі двох синхронно зв'язаних динамічних генераторів Лоренца була побудована модель системи передачі інформації з хаотичним маскуванням довільного вузькосмугового сигналу широкосмуговим хаотичним сигналом. Чисельний розв'язок диференціальних рівнянь системи та амплітудний спектр вихідного сигналу хаотичного генератора було розраховано за допомогою програмного забезпечення Matlab. З метою дослідження зміни динамічного режиму залежно від параметрів моделі було розраховано спектр показників Ляпунова та побудовано діаграму біфуркацій. Модель системи синхронізації зв'язаних динамічних систем та модель генератора вузькосмугових сигналів з довільним типом модуляції були побудовані в середовищі імітаційного моделювання Simulink.

**Ключові слова:** хаос, хаотичне маскування, динамічні системи, синхронізація.

M. SLOBODIAN, A. TARANCHUK, V. GAVRONSKIY  
Khmelnytskyi National University

## GENERATION OF BROADBAND CHAOTIC SIGNALS FOR HIDDEN TRANSMISSION OF INFORMATION IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

The article is devoted to mathematical modelling of a broadband chaotic oscillation generator based on the classical nonlinear Lorenz dynamical system. A model of the information transmission system with chaotic masking of an arbitrary narrowband signal by a broadband chaotic signal was built on the basis of two synchronously connected Lorenz dynamic generators. The numerical solution of the system's differential equations and the amplitude spectrum of the output signal of the chaotic generator were calculated using Matlab software. In order to study the change in the dynamic regime depending on the parameters of the model, the spectrum of Lyapunov exponents was calculated and a bifurcation diagram was constructed. The model of the synchronization system of coupled dynamic systems and the model of the narrowband signal generator with any type of modulation were built in the Simulink software.

**Keywords:** chaos, chaotic masking, dynamic systems, synchronization.

### Вступ

Однією з головних вимог, що ставиться до телекомунікаційних систем та мереж, є інформаційна захищеність. Криптографічні методи, що базуються на математичних алгоритмах, використовуються для шифрування даних з подальшою передачею їх відкритими каналами зв'язку. Додатковим ступенем захисту є приховання самого факту передачі інформації, наприклад, за допомогою методів цифрової стеганографії [1]. Іншим підходом до розв'язання цієї задачі є використання в якості носіїв інформації хаотичних сигналів, які характеризуються широким неперервним спектром та високою інформаційною ємністю [2–5]. Пристрої, побудовані на основі відносно нескладних математичних моделей, здатні генерувати неперіодичні електромагнітні коливання складної форми та дозволяють керувати хаотичними режимами за рахунок малих змін параметрів системи. Серед методів введення інформації в хаотичні сигнали, окрім модуляції параметрів нелінійної системи генератора, в науково-технічній літературі запропоновано ряд таких підходів, як хаотичне маскування (англ. chaotic masking), перемикання хаотичних режимів (англ. chaos shift keying), нелінійне підмішування (англ. nonlinear mixing) тощо [2, 6]. Таким чином, каналом зв'язку передається шумоподібний хаотичний сигнал, когерентний прийом якого здійснюється за рахунок синхронізації хаотичних систем з подальшою демодуляцією хаотичних коливань. Отже, для прийому та обробки хаотичних сигналів на приймальній стороні повинні бути повністю або частково відтворені електричні кола генератора передавача та власне динамічний режим його роботи, що можна розглядати як додатковий ступінь захисту при передачі інформації в телекомунікаційних системах.

### Математична модель генератора хаотичних коливань

Розглянемо в якості математичної моделі генератора хаотичних коливань динамічну систему Лоренца, яка складається з трьох звичайних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y; \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases} \quad (1)$$

де  $\sigma$ ,  $r$ ,  $b$  – дійсні додатні параметри системи.

Система Лоренца є нелінійною динамічною системою, яка при певних значеннях параметрів  $\sigma$ ,  $r$ ,  $b$  має нетривіальні розв'язки складної форми та високу чутливість до початкових умов [7, 8]. Так як праві



частини рівнянь системи (1) не містять вільних членів, то система є однорідною. В результаті заміні  $x \rightarrow -x$ ,  $y \rightarrow -y$  не змінюється вигляд рівнянь системи (1), що є свідченням симетричності системи Лоренца.

Для системи (1) дивергенція фазового потоку:

$$\operatorname{div}(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) = -\sigma - 1 - b < 0, \quad (2)$$

тоді, згідно з теоремою Ліувіля, фазовий потік стискає деякий об'єм фазового простору  $V(t)$  згідно з наступним співвідношенням:

$$V(t) = V(0)e^{-(\sigma+b+1)t}, \quad (3)$$

отже, системи Лоренца є дисипативною.

Система Лоренца має нульову точку рівноваги  $M_0 = (0; 0; 0)$  при довільних значеннях параметрів, а при  $r > 1$  ще дві відмінні від нуля точки рівноваги:

$$M_{1,2} = (\pm\sqrt{b(r-1)}, \pm\sqrt{b(r-1)}, r-1). \quad (4)$$

У випадку, якщо  $0 < r < 1$ , єдиною точкою рівноваги, що притягує всі траєкторії у фазовому просторі, є точка  $M_0$ . При досягненні параметра значення  $r = 1$  відбувається вилкоподібна біфуркація, що супроводжується (при  $r > 1$ ) втратою стійкості точки  $M_0$  та появою пари стійких положень рівноваги  $M_{1,2}$ . Точки  $M_{1,2}$  є стійкими вузлами при  $1 < r < 1,345$  та стійкими фокусами при  $1,345 < r < 24,737$ . Розмах коливань у фазовому просторі відносно положень рівноваги збільшується із зростанням параметра  $r$ . Досягнувши значення  $r \approx 13,927$  спостерігається перестроювання атрактора у фазовому просторі: за нульових початкових умов, здійснивши оберт навколо однієї з точок рівноваги, траєкторія повернеться у початок координат. Далі, зі зростанням параметра  $r$ , залежно від напрямку, траєкторія приходить в одну з точок  $M_{1,2}$ , гомоклінічні траєкторії переходять у граничні цикли, а розмах коливань зменшується. Досягнувши значення  $r \approx 24,06$  відбувається наступне перестроювання атрактора: разом із стійкими точками  $M_{1,2}$  у фазовому просторі виникає складна притягаюча структура, яка відповідає хаотичному режиму системи – «дивному атрактору» Лоренца. Точки  $M_{1,2}$  втрачають стійкість після досягнення значення  $r = r_k$ . Для значень параметрів системи  $\sigma = 10$  та  $b = 8/3$ , значення  $r_k \approx 24,74$ .

В загальному випадку значення параметра  $r_k$  при заданих  $\sigma$  та  $b$  визначається співвідношенням:

$$r_k = \frac{\sigma(\sigma+b+3)}{\sigma-b-1}. \quad (5)$$

На рис. 1 показані характерні траєкторії системи (1) при різних значеннях параметра  $r$  для двох наборів початкових умов:  $I_1(0, 1; 1; 1)$  та  $I_2(-0, 1; -1; 1)$ .

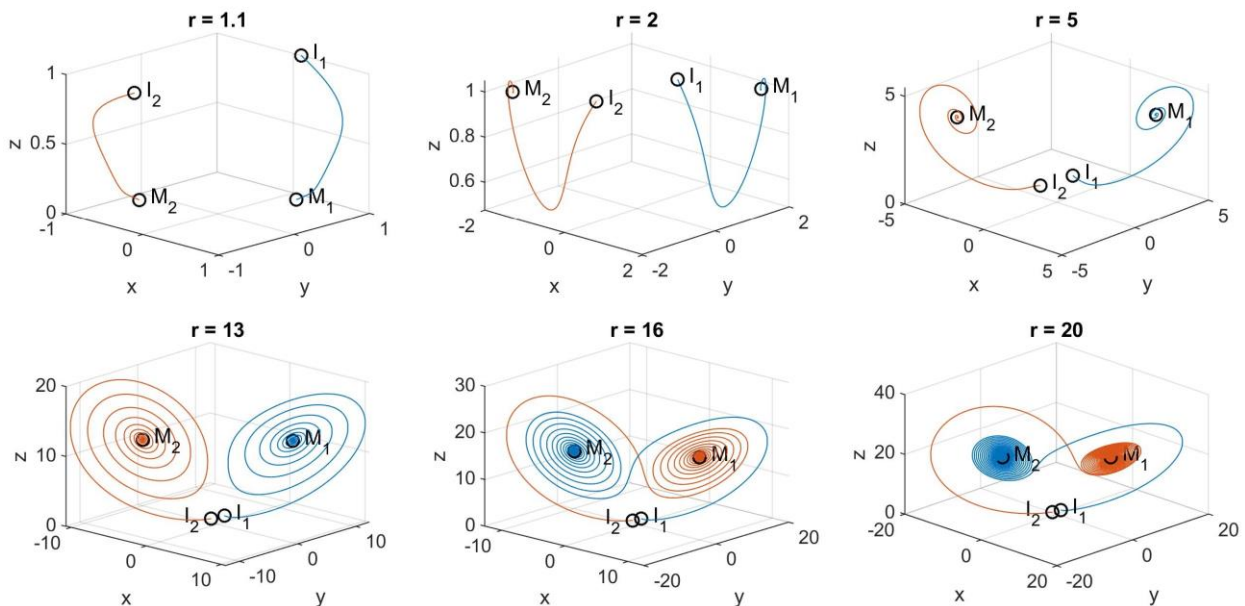


Рис. 1. Фазові траєкторії системи Лоренца для різних значеннях параметра  $r$

Зміну динамічного режиму системи Лоренца за координатою  $x$  при зміні параметра  $r \in [0,1; 40]$  ілюструє біфуркаційна діаграма, зображена на рис. 2, а.

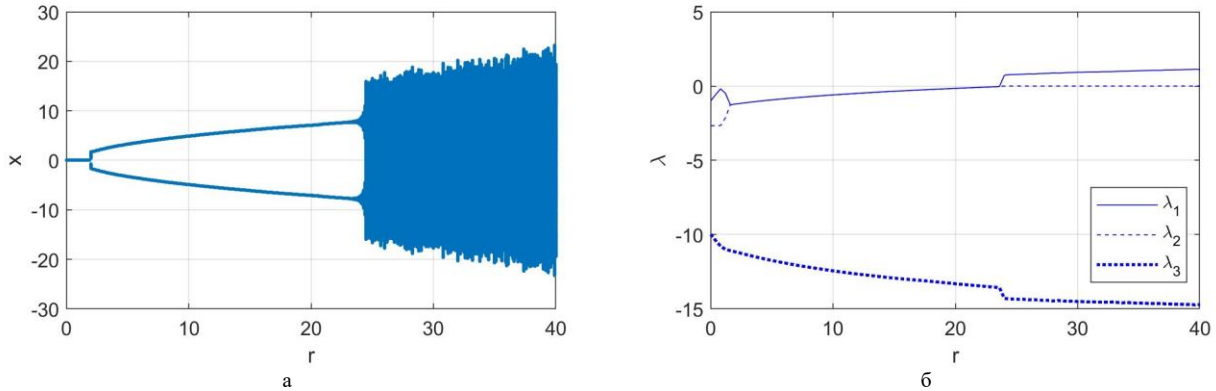


Рис. 2. Зміна динамічного режиму та ступеня хаотичності системи Лоренца залежно від параметра  $r$ : біфуркаційна діаграма (а), спектр показників Ляпунова (б)

Для кількісної оцінки хаотичності системи були розраховані показники Ляпунова [9, 10]  $\lambda_k$ ,  $k = 1..3$ , для різних значеннях параметра  $r \in [0,1; 40]$ . Спектр показників Ляпунова для вказаного діапазону значень параметра  $r$  зображено на рис. 2, б.

При значеннях параметрів  $\sigma = 10$ ,  $b = 8/3$ , починаючи із значення  $r \approx 24,74$ , система Лоренца генерує хаотичні коливання, про що свідчить форма біфуркаційної діаграми [11] (рис. 2, а) та додатній знак старшого показника Ляпунова (рис. 2, б).

В якості набору параметрів, за яких система (1) демонструє хаотичну поведінку, було прийнято:  $\sigma = 10$ ,  $r = 35$ ,  $b = 8/3$ . Фазовий портрет атратора, форму широкосмугового сигналу та його амплітудний спектр показано на рис. 3.

У хаотичному режимі система Лоренца генерує широкосмугові сигнали складної форми із неперервним спектром та високими кореляційними та ортогональними властивостями [8]. Висока інформаційна ємність та сильна залежність від початкових умов обумовлює використання сигналів такого типу в системах прихованої передачі інформації з шифруванням даних.

### Синхронізація зв'язаних динамічних систем та маскуванню вузькосмугового сигналу широкосмуговим хаотичним сигналом

Головною проблемою, яку необхідно вирішити для ефективного використання хаотичних сигналів для передачі інформації в телекомунікаційних системах є задача синхронізація хаотичних генераторів на передавальній та приймальній сторонах – «ведучої» та «веденої» систем відповідно (див. рис. 4, б).

Розглянемо пару зв'язаних систем Лоренца з однаковими значеннями параметрів  $\sigma$ ,  $r$  та  $b$ , що описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \sigma(y_1 - x_1) \\ \dot{y}_1 = x_1(r - z_1) - y_1 \\ \dot{z}_1 = x_1 y_1 - b z_1 \\ \dot{x}_2 = \sigma(y_2 - x_2) \\ \dot{y}_2 = x_2(r - z_2) - y_2 \\ \dot{z}_2 = x_2 y_2 - b z_2 \end{cases} \quad (6)$$

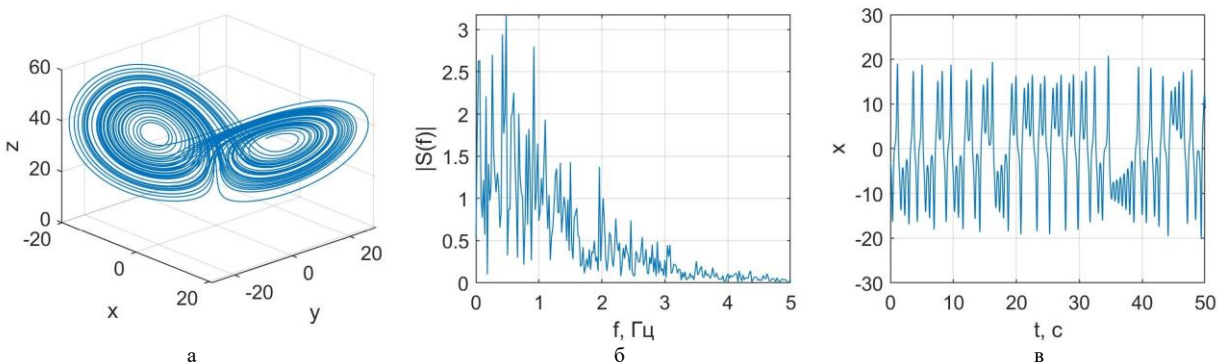


Рис. 3. Хаотичний режим системи Лоренца для набору параметрів  $\sigma = 10$ ,  $r = 35$ ,  $b = 8/3$ : атратор у фазовому просторі – а), амплітудний спектр сигналу координати  $x$  – б), часовий графік сигналу  $x$

Синхронізація цих двох систем можлива якщо існують фазові траєкторії  $U_1$  та  $U_2$  такі, що при  $t \rightarrow \infty$  відстань між траєкторіями  $\delta \rightarrow 0$ , тобто:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U_2 = U_1 \tag{7}$$

Крім того, рух системи (6) цією траєкторією повинен бути стійким по відношенню до завад. Необхідною умовою цього є від'ємне значення старшого показника Ляпунова «веденої» системи [7]. Моделювання процесу синхронізації зв'язаних систем Лоренца було виконано засобами MATLAB/Simulink.

Комп'ютерна Simulink-модель, що складається з трьох інтеграторів, які призначені для чисельного розв'язку динамічної системи Лоренца (1), зображена на рис. 4, а. Вихідними сигналами системи є часові значення координат  $x, y, z$ .

Система синхронізації двох зв'язаних систем Лоренца, *Lorenz\_1* та *Lorenz\_2*, показана на рис. 4, б. Для реалізації синхронного відгуку системи *Lorenz\_2* використовується сигнал  $y$  «ведучої» системи *Lorenz\_1*, а сигнал  $x$  слугує носієм інформаційного сигналу  $s_1$ .

Перехідний процес синхронізації динамічних систем Лоренца для сигналу  $x$  показано на рис. 5, а. На рис. 5, б зображено графік відносної похибки синхронізації  $\mu$ .

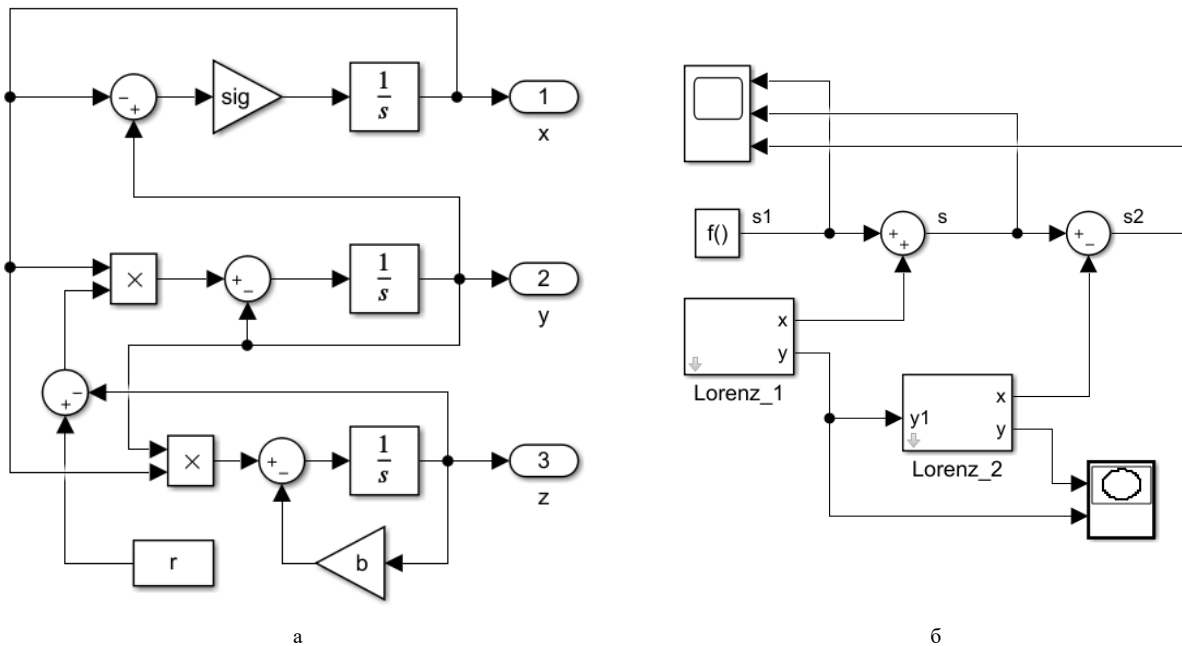


Рис. 4. Simulink-модель динамічної системи Лоренца (а) та системи синхронізації двох зв'язаних систем Лоренца з хаотичним маскуванням інформаційного сигналу (б)

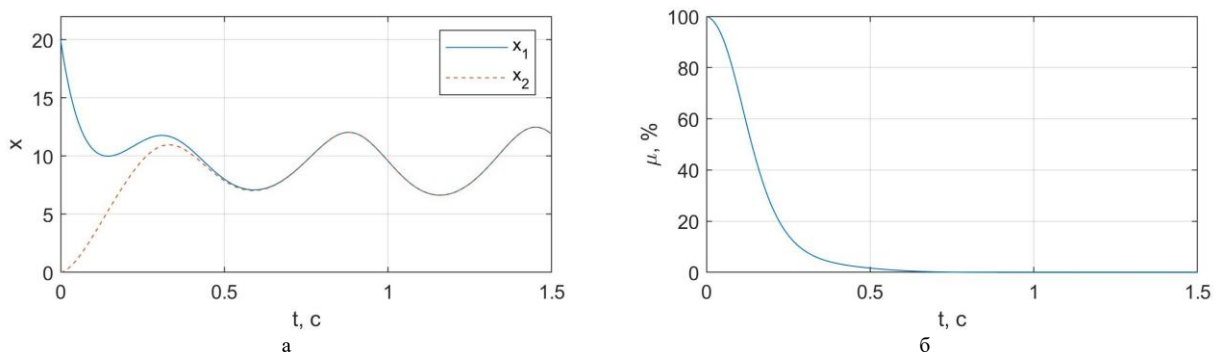


Рис. 5. Процес синхронізації зв'язаних динамічних систем Лоренца: часові діаграми вихідних сигналів  $x_1$  та  $x_2$  зв'язаних систем (а), відносна похибка синхронізації (б)

Представимо довільний вузькосмуговий сигнал  $y$  в вигляді:

$$s[u(t), t] = S[u(t), t] \cdot \sin(\omega_0 t + \Psi[u(t), t]), \tag{8}$$

де  $S[u(t), t]$  – амплітуда сигналу,

$\Psi[u(t), t] = \Phi[u(t), t] + \varphi_0$  – повна фаза сигналу.

Нехай  $u(t)$  – повільно зростаючою функцією часу, тоді при диференціюванні вважатимемо  $u(t) = u = \text{const}$ .

Продиференціювавши вираз (8) двічі по часу, ввівши заміни  $\sin \Psi = s/S$  та  $\cos \Psi = (\dot{s} - \dot{S}s/S)/S\dot{\Psi}$ , отримаємо лінійне диференціальне рівняння зі змінними коефіцієнтами:

$$\ddot{s} - \left[ \frac{\ddot{\Psi}}{\dot{\Psi}} + \frac{2\dot{S}}{S} \right] \dot{s} + \left[ \dot{\Psi}^2 + \frac{1}{S} \left( \frac{2\dot{S}^2}{S} + \frac{\dot{S}\dot{\Psi}}{\dot{\Psi}} - \ddot{S} \right) \right] s = 0. \quad (9)$$

Форма сигналу  $s(t)$ , який є розв'язком рівняння (9), залежить від типу модуляції, яка в свою чергу, в рамках описуваної моделі, задається законом зміни амплітуди  $S[u(t), t]$  та повної фази  $\Psi[u(t), t]$ .

Наприклад, для сигналу з частотною модуляцією (ЧМ):

$$S[u(t), t] = S_0 = \text{const}, \quad (10)$$

$$\Psi[u(t), t] = \omega_0 t + m_{\text{ЧМ}} \int_0^t u(t) dt + \varphi_0, \quad (11)$$

де  $\omega_0$  – частота несучого коливання;  $m_{\text{ЧМ}}$  – індекс модуляції;  $\varphi_0$  – початкова фаза.

Комп'ютерна Simulink-модель генератора вузькосмугових сигналів, побудована згідно рівняння (9) представлена на рис. 6. Вхідними сигналами для моделі є амплітуда  $S$  та повна фаза  $\Psi$ .

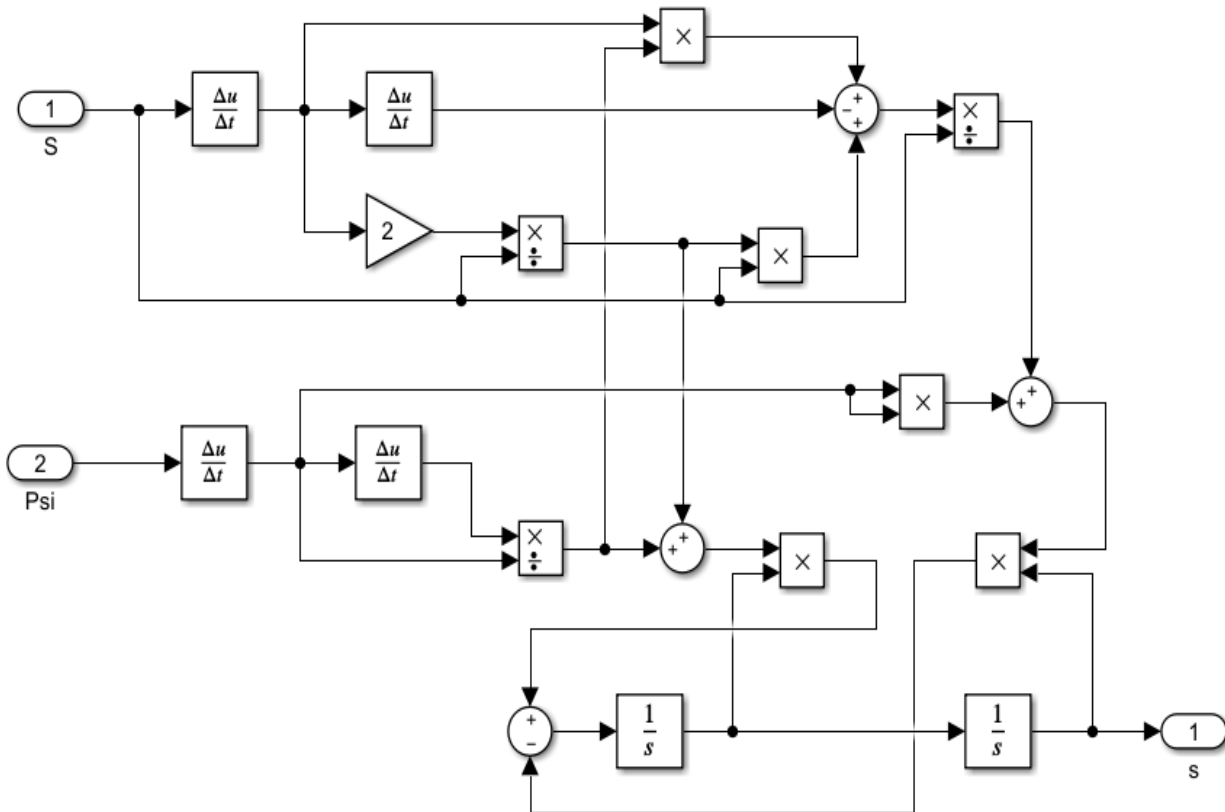
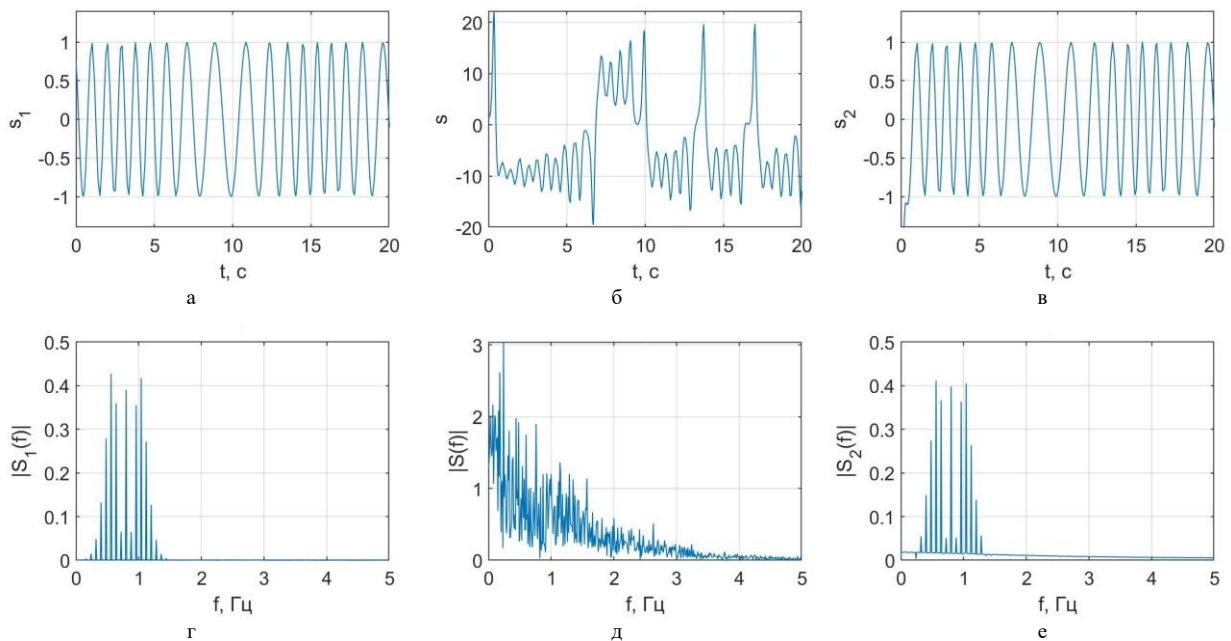


Рис. 6. Simulink-модель генератора вузькосмугових сигналів із заданою формою амплітуди та фази

Часові залежності та амплітудні спектри вихідних сигналів систем передачі та прийому, а також сигналу в каналі зв'язку, показано на рис. 7.

Тестовий ЧМ-сигнал  $s_1$ , отриманий на виході моделі, показаної на рис. 6, адитивно підмішується до вихідного хаотичного сигналу  $x_1$  системи *Lorenz\_1* (рис. 4, б) та разом із сигналом синхронізації  $y$  передається каналом зв'язку (рис. 7, б).

На приймальній стороні тестовий сигнал виділяється шляхом віднімання від прийнятого хаотичного сигналу  $s$  сигналу  $x_2$ , згенерованого системою *Lorenz\_2* (рис. 4, б), що синхронізується сигналом  $y$ . Після завершення перехідного процесу, після встановлення режиму синхронізації, виділений сигнал  $s_2$  (рис. 7, е) співпадає з оригінальним сигналом повідомлення  $s_1$  (рис. 7, а). Параметри систем *Lorenz\_1* та *Lorenz\_2* вважаються ідентичними, а канал зв'язку – ідеальним.



**Рис. 7. Хаотичне маскування тестового вузькосмугового ЧМ-сигналу:**  
 а), г) – сигнал на вході системи передачі та його амплітудний спектр;  
 б), д) – сигнал, переданий каналом зв'язку та його спектр;  
 в), е) – сигнал на виході приймальної системи та його спектр

### Висновки

1. Перспектива використання пристроїв із хаотичної динамікою в сучасних засобах телекомунікації обумовлена рядом факторів, серед яких висока інформаційна ємність, широкий спектр частот та конфіденційність передачі повідомлень. Можливість реалізації на базі одного пристрою великої кількості хаотичних режимів в перспективі дає можливість побудови багатоканальних систем передачі інформації. Сильна залежність від початкових умов та нестійкість фазових траєкторій дозволяє за рахунок малих впливів керувати динамікою хаотичних генераторів та здійснювати модуляцію з великою швидкістю.

2. Не дивлячись на простоту реалізації, метод хаотичного маскування має ряд суттєвих недоліків. Так, при наявності завад в каналі зв'язку інформаційний сигнал, потужність якого априорі є нижчою порівняно із несучим хаотичним сигналом, стає співрозмірним із шумами каналу. Збільшення рівня інформаційного сигналу призводить до втрати конфіденційності, оскільки можливим стає несанкціонований перехват інформаційного повідомлення шляхом відфільтрування хаотичної складової. Таким чином, в ході проектування системи передачі, оснований на хаотичному маскуванні, необхідно визначити оптимальне співвідношення сигнал/хаос виходячи із оцінки можливого рівня шумів в каналі та потрібної якості передачі.

3. Описаний підхід може бути застосований для багатоканальної передачі вузькосмугових сигналів з кутовою модуляцією, наприклад, в безпроводних інфокомунікаційних системах з використанням кварцових сенсорів фізичних параметрів з модульованим міжелектродним зазором збудження п'єзореzonатора [12].

### Література

1. Абазина Е.С. Цифровая стеганография: состояние и перспективы / Е.С. Абазина, А.А. Ерунов // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 2. – С. 182–201.
2. Земляной О.В. Передача информации на основе манипуляции спектром широкополосного хаотического сигнала / О. В. Земляной // Радиофизика и электроника. – 2015. – Т. 6(20), № 3. – С. 72–78.
3. Иванюк П.В. Хаотическое маскирование информационных сигналов с использованием генератора на базе системы Лю / П.В. Иванюк, Л.Ф. Политанский, Р.Л. Политанский, О.М. Элияшив // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – № 3. – С. 11–17.
4. Пятін І.С. Конфіденційна система зв'язку / І.С. Пятін, В.І. Лужанський, Л.В. Карпова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 207–212.
5. Колесов В.В. Применение дискретных хаотических алгоритмов в широкополосных телекоммуникационных системах / В.В. Колесов, А.И. Полубехин, Е.П. Чигин, А.Д. Юрин // Вестник СибГУТИ. – 2016. – № 3. – С. 77–92.
6. Агуреев К.И. Применение детерминированного хаоса для передачи информации / К.И. Агуреев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 11. Ч. 2. – С. 197–212.
7. Дмитриев А.С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас. – М. : Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 252 с.

8. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях : монографія / [Ю.Я. Бобало, С.Д. Галюк, М.М. Климаш, Р.Л. Політанський] ; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів : Коло, 2015. – 178 с.
9. Передерий Ю.А. Метод оценки спектра ляпуновских показателей по временной реализации / Ю.А. Передерий // Известия вузов. ПНД. – 2012. – Т. 20, вып. 1. – С. 99–104.
10. M.-F. Danca. Matlab code for Lyapunov exponents of fractional order systems / Marius-F. Danca, N.V. Kuznetsov // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2018. – Vol. 28, No. 05, 1850067. – 14 p.
11. Kehui Sun. Bifurcations of fractional-order diffusionless Lorenz system / Kehui Sun, Xia Wang, J.C. Sprott // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2010. – Vol. 20, No. 04. – P. 1209–1219.
12. Taranchuk A.A. Construction of measuring piezoresonance mechanotrons and their practical implementation for telemedicine diagnostic systems / A.A. Taranchuk // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018. – Volume 77, Issue 3. – P. 269–281.

#### References

1. Abazina E. S. Digital Steganography: Status and Development Outlook / E. S. Abazina, A. A. Erunov // Systems of Control, Communication and Security. – 2016. – Issue 2. – P. 182–201.
2. Zemlyaniy O.V. Information transmission based on spectrum manipulation of a wideband chaotic signal / O.V. Zemlyaniy // Radio physics and electronics. – 2015. – Volume 6(20), Issue 3. – P. 72–78.
3. Ivanyuk P.V. Chaotic masking of information signals using generator based on the Liu system / P.V. Ivanyuk, L.F. Politansky, R.L. Politansky, O.M. Eliashyiv // Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature. – 2012. – Issue 3. – P. 11–17.
4. Pyatin I.S. Confidential communications system / I.S. Pyatin, V.I. Lughanskiy, L.V. Karpova // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2015. – Volume 221. Issue 1. – P. 207–212.
5. Kolesov V.V. Application of discrete chaotic algorithms in broadband telecommunication systems / Vladimir V. Kolesov, Alexander I. Polubekhin, Eugene P. Chigin, Alexander D. Yurin // Vestnik SibGUTI. – 2016. – Issue 3. – P. 77–92.
6. Agureev K.I. The application of deterministic chaos to transmission of information (review) / K.I. Agureev // Izvestiya TulGU. Technical sciences. – 2014. – Issue. 11. Part. 2. – P.197–212.
7. Dmitriev A.S. Dynamic chaos: novel type of information carrier for communication systems / A.S. Dmitriev, A.I. Panas. – M. : Izdatelstvo Fizikomatematicheskoy literatury, 2002. – 252 p.
8. Prikladne zastosuvannya teorii khaotichnikh sistem u telekomunikacziyakh: monografiya / [Yu.Ya. Bobalo, S.D. Galyuk, M.M. Klimash, R.L. Politansky] ; Nacz. un-t «Lviv. politehnika». – Lviv : Kolo, 2015. – 178 p.
9. Perederiy Y.A. Method for calculation of Lyapunov exponents spectrum from data series / Y.A. Perederiy // Izvestiya VUZ. AND. – 2012. – Volume 20, Issue 1. – P. 99–104.
10. Danca M.-F. Matlab code for Lyapunov exponents of fractional order systems / Marius-F. Danca, N.V. Kuznetsov // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2018. – Volume 28, Issue 05, 1850067. – 14 p.
11. Kehui Sun. Bifurcations of fractional-order diffusionless Lorenz system / Kehui Sun, Xia Wang, J.C. Sprott // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2010. – Volume 20, Issue 04. – P. 1209–1219.
12. Taranchuk A.A. Construction of measuring piezoresonance mechanotrons and their practical implementation for telemedicine diagnostic systems / A.A. Taranchuk // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018. – Volume 77, Issue 3. – P. 269–281.

Рецензія/Peer review : 19.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.

**ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

DOI 10.31891/2307-5732-2020-287-4-199-204

УДК 688.3+675.12:004.94

С.Є. КАМЕНЕЦЬ, В.В. ВАСЮТИНСЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

**ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВІЗУАЛЬНОГО ДИЗАЙНУ  
ТА ПРОСТОРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ  
ДЛЯ СТВОРЕННЯ ШКІРГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ**

Стаття присвячена методам просторового моделювання та удосконалення проектування виробів в шкіргалантерейному виробництві. В ході дослідження було проведено аналіз способів створення колекцій шкіргалантерейних виробів і методів проектування окремих її об'єктів, сучасних систем автоматизованого проектування, а також матеріалів, які можуть бути використані для 3D друку деталей. Результатом дослідження стала колекція сумок «Архітектор душі», для просторового моделювання якої застосовувалась NURBS технологія, яка дозволяє побудувати з великою точністю просторові моделі складних неоднорідних поверхонь деталей сумок. Окремі деталі виробів було надруковано за допомогою 3D принтера з АБС пластика.

Ключові слова: 3D моделювання, САПР, 3D друк, шкіргалантерея, формоутворення, NURBS-моделювання.

S.E. KAMENETS, V.V. VASIUTYNSKA

Kyiv National University of Technology and Design

**USE OF MODERN METHODS OF VISUAL DESIGN AND SPATIAL MODELING TO CREATE LEATHER GOODS**

This article is about methods of spatial modelling and improvement of design systems in the production of leather products. The rapid development and change of fashion trends are becoming more and more challenging for the designer of leather goods, which require deep analysis and creative thinking. Classic design techniques are not enough to translate interesting product decisions, so it's a good idea to include creative search and discover methods that are unusual for yourself and the industry. The purpose of the study was to find such a method and use it, as a result of which the fans of the creative presented a collection of bags "Architect of the soul". The objects were developed in Rhino 6, based on NURBS modelling. Some product details were printed using a 3D printer. The use of modern spatial modelling systems has another advantage – the rapid and high-quality manufacturing of parts with complex geometric shapes on a 3D printer. For this purpose, various artificial materials are used, the most widely used being PLA (Polylactic acid – (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub>) and ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene – (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub> · C<sub>4</sub>H<sub>6</sub> · C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N)<sub>n</sub>), which are used by volume-creating printers products – using the technology of layer-by-material build-up. Nowadays, when it is important to preserve the environment, the concept of "conscious fashion" is important – it is about the fate of the product after its expiration. Plastic such as thermoplastic resin (a type of polymer that softens when heated and can be re-melted or softened by heating. Its properties are not altered.), Can be recycled, which gives another advantage in production-oriented 3D models. Due to the fact that research and experiments were conducted in the short term, there is still a prospect of improving new methods.

Keywords: 3D modelling, CAD, 3D printing, leather goods, shaping.

**Постановка проблеми**

У зв'язку з стрімким розвитком та змінами тенденцій моди, перед розробниками постають все більш складні завдання, які обумовлені зростаючим суспільним інтересом та вимогами до дизайну. Сучасний підхід до створення нових об'єктів дизайну, а саме шкіргалантерейних виробів, дає змогу застосовувати нетипові для галузі матеріали та способи їх проектування та виготовлення. При вирішенні проектного завдання традиційними методами не завжди можна отримати нові рішення дизайну та конструкції виробу. Тому, важливо включити творчий пошук з використанням сучасних методів візуального дизайну та застосувати нетипові методи та способи процесу проектування.

**Аналіз останніх досліджень**

У сучасному виробництві широке поширення одержали системи автоматизованого проектування (САПР або CAD computer aided design), які дозволяють проектувати вироби точніше і з меншими витратами часу [1]. САПР складаються з проектуючої і обслуговуючої підсистем. Проектуючі підсистеми безпосередньо виконують проектні процедури. Прикладами проектуючих підсистем можуть бути підсистеми геометричного тривимірного моделювання різних частин і самого об'єкту в цілому, підготовка та виготовлення конструкторської документації, схеми-технічного аналізу.

Обслуговуючі підсистеми забезпечують функціонування проектувальних підсистем, їхню сукупність часто називають системним середовищем (або оболонкою) САПР. Типовими обслуговуючими підсистемами є системи керування проектними даними (PDM – Product Data Management), керування процесом проектування (DesPM – Design Process Management), користувацького інтерфейсу для зв'язку розробників з ЕОМ, CASE (Computer Aided Software Engineering) для розробки та супроводу програмного забезпечення САПР, навчальні підсистеми для освоєння користувачами технологій, реалізованих у САПР [1].

Найбільш розповсюджені універсальні системи автоматизованого проектування наступні:

AutoCAD – найвідоміший із продуктів компанії Autodesk, універсальна система автоматизованого проектування, що поєднує у собі функції двовимірного креслення й тривимірного моделювання активно використовується в машинобудуванні і архітектурі.

*SolidWorks* – продукт компанії SolidWorks Corporation, система автоматизованого проектування у трьох вимірах, інженерного аналізу та підготовки виробництва.

*Pro/Engineer* – CAD система високого рівня для твердотілого і асоціативного 3D-моделювання та підготовки конструкторської документації. Має вбудовані можливості для проектування зварних конструкцій, тому частіше і використовується в машинобудуванні.

*ADEM* – російська інтегрована CAD/CAM/CAPP-система, яка дозволяє моделювання та проектування інженерних об'єктів, технологічних процесів, оформлення проектно-конструкторської й технологічної документації, а також програмування устаткування з ЧПУ.

*bCAD* – дво- і тривимірна система автоматизованого проектування, розроблена російською компанією «ПРОПРО Група». bCAD одержала поширення в меблевому виробництві та дизайні інтер'єрів і являє собою інтегрований пакет для двовимірного креслення, об'ємного моделювання й реалістичної візуалізації.

*3ds Max (3D Studio MAX)* – професійне програмне забезпечення компанії Autodesk для 3D-моделювання, анімації і візуалізації при створенні комп'ютерних ігор, тривимірних анімаційних мультфільмів, рекламних роликів тощо [1].

*Rhinoceros 3D* – програмне забезпечення для тривимірного NURBS-моделювання розробки Robert McNeel & Associates. Переважно використовується в промисловому дизайні, архітектурі, корабельному проектуванні, ювелірному та автомобільному дизайні, а також в мультимедіа та графічному дизайні [2].

Існує кілька способів просторового моделювання, які використовуються для сучасного 3D проектування – полігональне, сплайнове і NURBS моделювання. Залежно від виду об'єкта та цілі моделювання вони можуть застосовуватися як окремо, так і комплексно [3].

**Полігональне моделювання** – це вид просторового моделювання шляхом апроксимації поверхонь об'єктів полігонами (багатокутниками, частіше чотирикутником. Аби краї моделі не мали кутастого вигляду, необхідно, щоб полігони були малого розміру, а поверхня об'єкта складалася з маленьких площин.

**Моделювання сплайнами** – це вид 3D моделювання, при якому модель створюється за допомогою сплайнів, які задаються тривимірним набором контрольних точок в просторі і визначають гладкість кривої. Всі сплайни зводяться до каркасу об'єкта, на основі якого вже буде створюватися тривимірна геометрична поверхня. Сплайнне моделювання – більш точне, ніж полігональне і при масштабуванні (наближенні) якість об'єкта не змінюється. **NURBS моделювання** або технологія Non-Uniform Rational B-Spline – це технологія використання неоднорідних раціональних B-сплайнів – створення плавних форм і моделей, у яких немає гострих країв, як у полігональних моделей. Саме через цю відмінну рису технологію NURBS застосовують для побудови органічних моделей і об'єктів (рослин, тварин, людей).

Порівнявши методи просторового моделювання і характеристики сучасних систем автоматизованого проектування, найбільш зручним та відповідаючи нашим потребам являється *Rhinoceros 3D*, яка використовує технологію NURBS моделювання [4].

Застосування сучасних систем просторового моделювання має ще одну перевагу – швидке і якісне виготовлення деталей з складними геометричними формами на 3D принтері [5]. Для цього використовуються різні штучні матеріали, серед яких найбільшого поширення знайшли PLA (Полілактидна кислота  $(C_3H_4O_2)_n$ ) і ABS (акрилонітрил-бутадиєн-стирол –  $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$ ), які використовуються принтерами, що створюють об'ємні вироби за допомогою технології пошарового нарощування матеріалу [6].

В наш час, коли актуальним є збереження навколишнього середовища, важливим є поняття «свідома мода»; йдеться про подальшу долю виробу, після закінчення терміну дії його використання [7]. Такий пластик, як термопластична смола – це тип полімеру, який розм'якшується при нагріванні і може бути повторно розплавлений або розм'якшений за допомогою нагрівання. Властивості його при цьому не змінюються, може бути перероблений повторно, що надає ще одну перевагу у виробництві, орієнтованому на використання 3D моделей.

**Мета дослідження:** розробка методу просторового моделювання для створення шкіргалантерейних виробів, що мають складну, неоднорідну, органічну форму.

### Виклад основного матеріалу

При класичному методі проектування шкіргалантерейні вироби на початку представляються у вигляді плоских геометричних моделей, силуетів, у вигляді ескізів або технічних рисунків, що не дають достатньої інформації про просторову форму і не розкривають всіх аспектів формоутворення об'єкту. Застосування автоматизованих систем та програмного забезпечення 3D графіки дає можливість побачити виріб ще до виготовлення прототипу в просторі, повернути і роздивитися зі всіх боків і підібрати для нього найбільш відповідні матеріали, колір і фактуру. Зробити коректні креслення зі зменшенням похибки, яка виникає під час механічної розробки конструкторської документації.

Створення виробу або його окремих деталей способом 3D друку надає можливість виготовляти його, не тільки по індивідуальному замовленню, а й застосовувати в масовому виробництві. Широкий спектр полімерів дозволяє підібрати матеріали з визначеними властивостями, які не тільки максимально відповідатимуть естетичним задумам дизайнера, а також забезпечать довговічність об'єкту і зручність його у використанні. Змога передати максимально точний характер силуету та рельєфу, стає ще однією перевагою у виробництві, що орієнтоване на продаж емоції, а не предмету. Відштовхуючись від історії розвитку галантереї та періодів популярності стилів, ми й починаємо формувати власні колекції.



Відомо, що ще на початку XX ст. конструктивізм став стилем життя суспільства та відобразився на всіх соціально-культурних сферах. В основі конструктивізму лежить строгість, геометризм, лаконічність форм, монолітність зовнішнього вигляду. Цей стиль популярний і на сьогодні [8]. Поєднання грубих рублених форм і тонке вишукане декорування не може залишити байдужими справжніх цінувальників мистецтва. Відображення цей стиль знайшов і в роботах багатьох дизайнерів шкіргалантереї. Поєднання мотивів двох сфер, не може не здивувати приємним результатом, що неодноразово доказують сучасні дизайнери.

Популярність конструктивізму можна спостерігати на прикладі робіт сучасного митця Константина Кофти (рис. 1). Так його колекція шкіргалантерейних виробів «Inertia» складається з рюкзаків та сумок, що мають чіткі геометричні лінії. [9] Серед його колекцій є також роботи з формами та рельєфами, що характерні в архітектурі XVI–XVIII століть, в яких дизайнер поєднує пишність та лаконічність. Сумки та рюкзаки виготовлені таким чином, що здається, на плечах у моделі не рюкзак, а шматочок стародавньої колони. Неймовірно те, що за допомогою шкіри дизайнер створив оригінальні рельєфи.

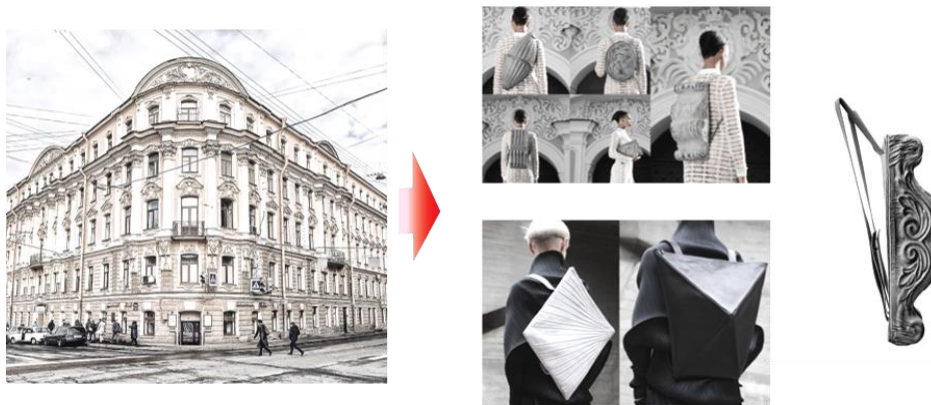


Рис. 1. Приклади трансформації ідеї у виріб

Процес зародження колекції ставить перед проектувальником нелегкий шлях «від ідеї до колекції». Початком цьому стає трансформація джерела натхнення в власний авторський виріб. На початку створення власної колекції, було проведено огляд трансформацій і створення нових виробів (рис. 2).

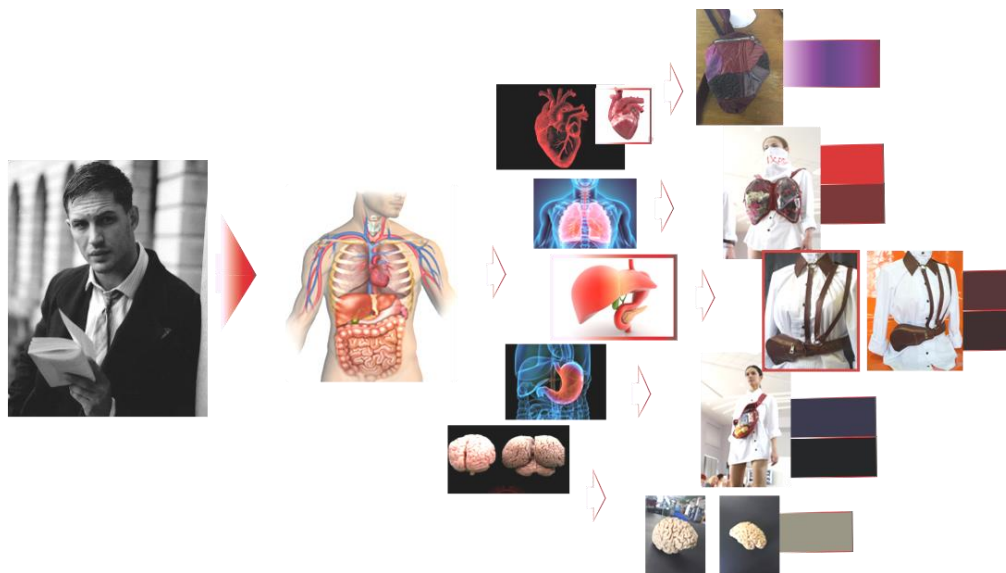


Рис. 2. Трансформація джерела натхнення в авторську колекцію «Архітектор душі»

Людина, свого роду також є своєрідною «архітектурою», звідки й пішла назва колекції «Архітектор душі». Якщо розглянути тіло людини, то це теж будова, що формується ще до появи немовляти на світ. Як і в бетонних конструкціях, так і наділеному душею тілі людини є необхідні складові, без яких існування неможливе. Проаналізувавши будову організму людини, для колекції сумок, було прийняте рішення використовувати за прототип його внутрішні органи – мозок, серце, легені, шлунок, печінка.

Після розробки проектної частини стає питання технологічних розробок кожного з виробів, які суттєво відрізняються між собою. Деякі з виробів потребують попереднього формування, використання нових матеріалів в галузі шкіргалантереї, надання об'єму нетиповим шляхом. Так, сумка у вигляді людського мозку передбачає деталь що виготовлена за допомогою 3D друку. Решта, на основі лекал відповідної форми, що мають максимальну схожість з реальними органами. Фактурність и кольорова гамма шкіри, ще раз

підкреслює особливість виробу і надає ефектності. Поєднання матеріалів, шкіри і ПВХ-плівки Cristal Silicon, забезпечує здатність передачі додаткових ефектів під час показу колекції.

Для моделювання настільки різних і складних форм і об'єктів було вирішено використовувати технологію NURBS-моделювання в Rhinoceros 6, яка надає можливість отримати складну органічну форму, фактуру та деталювання. Процес просторового проектування описується на прикладі моделюванні сумки у вигляді мозку (рис. 5).

Для передачі характеру форми, було взято точну копію мозку людини. Спочатку були визначені габарити майбутньої сумки і в програмі побудовано каркас (рис. 3, а). Використовуючи багаті можливості програми, з кривих каркасу моделі були побудовані гладкі тривимірні поверхні. Надалі ці поверхні дадуть нам підкладку сумки (рис. 3, б). Додавши гладкій поверхні «звивини мозку» ми трансформували її в верх сумки (рис. 3, в). Ця деталь в подальшому була отримана методом тривимірного друку на 3Д принтері. Деталі передбачається з'єднувати між собою за допомогою об'ємної ручної строчки. Додавши на моделі відповідну криву і поверхню, побудовану на її основі, ми отримали шнурок строчки (рис. 3, г).

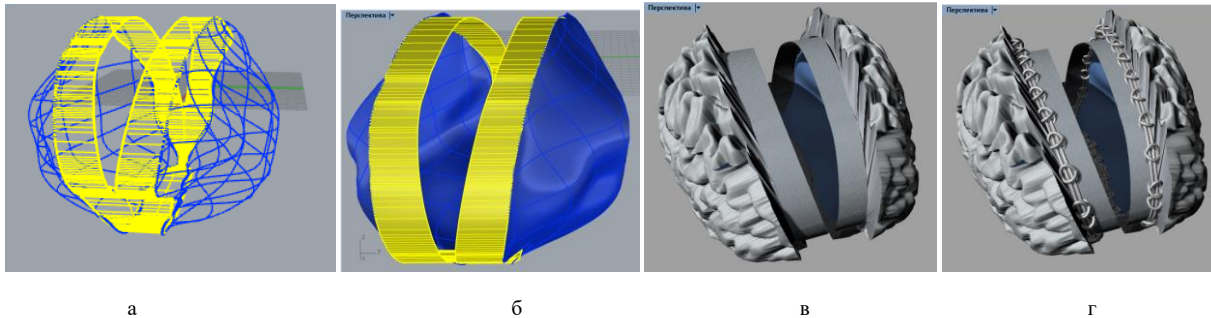


Рис. 3. Розробка виробу в Rhinoceros

Після створення просторової моделі сумки переходимо до розробки фурнітури. Насамперед, при проектуванні сумки в вигляді мозку, було враховано жорсткість конструкції, що вимагало використання додаткових деталей необхідних для кріплення замка.

Дотримуючись класичної методики проектування сумки з рамковим замком враховані особливості даної конструкції і побудована 3Д модель цього замка (рис. 4):

- довжина замка – відстань між зовнішніми бічними гранями рамки;
- висота замка – відстань від зовнішньої грані горизонтальної частини рамки до центра шарніра;
- радіус кривизни внутрішньої грані замка;
- ширина замка – відстань між зовнішніми гранями рамок;
- глибина паза, який заповнюється матеріалом;
- ширина паза рамки замка.

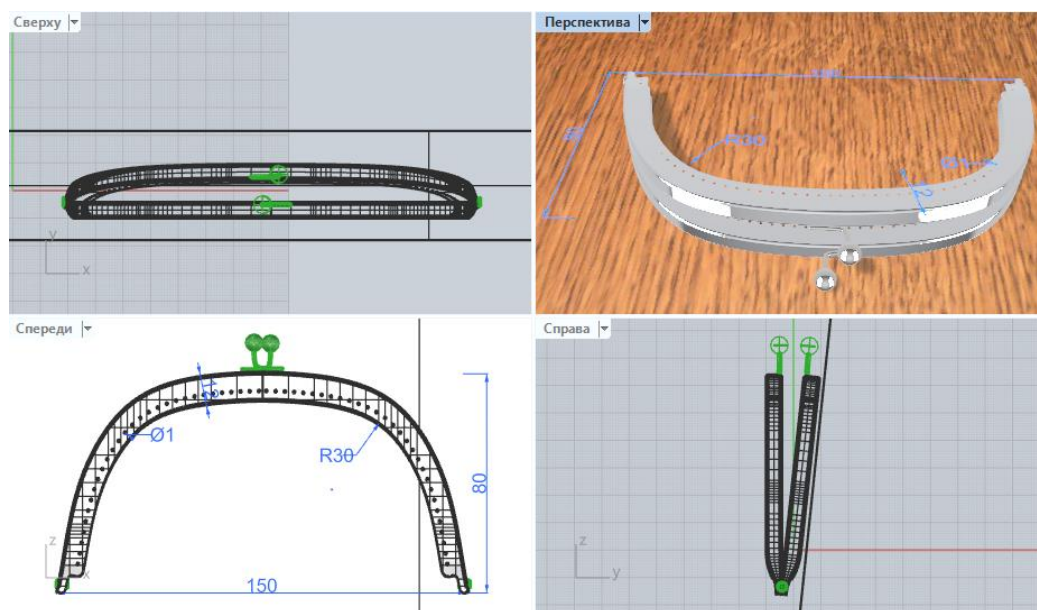


Рис. 4. Робочі проєкції і просторова модель рамкового замка

Задача інтенсифікації процесу проектування розв'язується не тільки шляхом автоматизації, а і удосконаленням технологічних процесів складання виробів.

Сумка проектувалась з урахуванням ергономічних та функціонально-споживацьких вимог та була виготовлена шляхом 3D друку. Значну роль у виробництві відіграють матеріали з яких виготовляють

вироби. При виборі матеріалу важливим є урахування навантаження при експлуатації і тут значну роль відіграє хімічний склад полімеру. Оскільки сучасні дизайнери та безпосередньо споживачі приділяють велику увагу «свідомій моді», матеріал має бути підібраний з можливістю його переробки.

Було проведено аналіз фізико-механічних властивостей деяких пластиків, які частіше використовуються для 3D-друку (табл. 1).

Таблиця 1

#### Аналіз фізико-механічних властивостей полімерів для 3D принтеру

№ з/п	Назва	Фізико-механічні показники			
		Щільність, г/см <sup>3</sup>	Щільність на згині, МПа	Водопоглинення, 24 ч /23 °С, %	Щільність на розтягування
1	ABS/PC (Monofilament)	1,05	55–70	1 %	40
2	Пластик PA+ натуральний (MONOFILAMENT)	1,14	97	0,5 %	66
3	Пластик PBT НАТУРАЛЬНЫЙ	1,31	65	1 %	65

Після аналізу, для друку деталі сумки у вигляді мозку було вирішено використовувати АБС пластик, який задовольняє поставленим вимогам, а саме: в натуральному вигляді він має напівпрозорий жовтуватий відтінок, але може бути окрашений в будь-який колір; коштує не дорого (в середньому в два рази дешевша PLA-пластика); у нього підвищена ударна міцність та еластичність, довговічність, крім того він не токсичний, вологостійкий, стійкий до впливу масел чи миючих засобів і може надійно використовуватись в широкому діапазоні температур (від –40 °С до +90 °С).

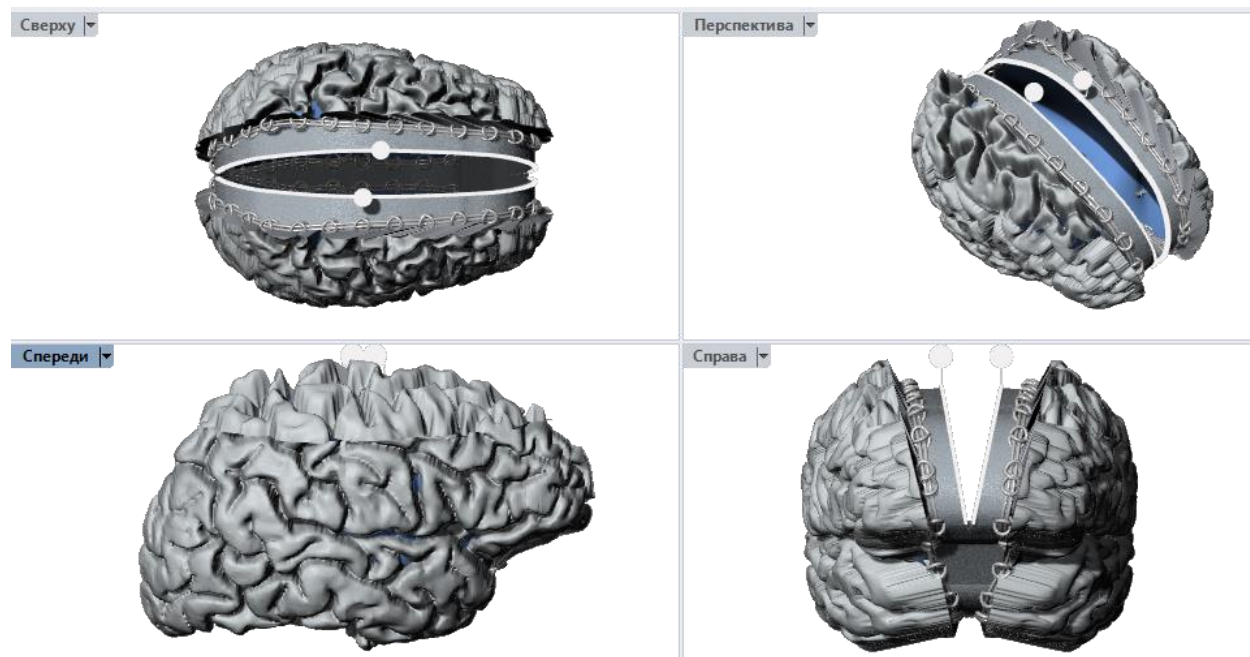


Рис. 5. Просторова модель сумки-клатч у вигляді людського мозку

Першим етапом в виробництві сумки-клатч (у вигляді людського мозку) було затвердження моделі з відповідними розмірами (в цьому випадку, модель відповідає пропорціям натурального мозку чоловіка 35 років) і виготовлення її на 3D принтері з АБС пластика, після чого її було пофарбовано в потрібний (сірий) колір. Для зручності використання сумки було вирішено одну половину виготовити на 3D принтері з пластика, а іншу із шкіри. Після попереднього формування деталі зі шкіри і підготовки двох половин, було проведення кріплення формуюру з дотриманням класичних методів (наявність ботана та дна). Кінцевим став етап декорування виробу.

#### Висновки

Було проаналізовано досвід створення колекцій шкіргалантерейних виробів і методів проектування окремих її об'єктів як класичними способами, так і з використанням автоматизованих систем. Для створення власної колекції «Архітектор душі» було вирішено застосовувати для просторового моделювання NURBS технологію, яка дозволяє побудувати з великою точністю просторові моделі складних неоднорідних поверхонь деталей сумок. Використання 3D-моделі сумки дозволяє удосконалити не тільки процес конструювання, але і технологію виготовлення формованих деталей шкіргалантерейних виробів, застосовуючи друк необхідних деталей на 3D-принтері.

## Література

1. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень / за заг. ред. Кветного Р.Н. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 235 с.
2. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros\\_3D](https://ru.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D)
3. Каменець С.Є. Аналіз сучасних систем просторового проектування взуття / С.Є. Каменець, О.А. Коваль // Збірник матеріалів II Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (Київ, 1-2 листопада 2018 р.). – Київ : КНУТД, 2018.
4. Каменець С.Є. Застосування NURBS поверхонь для просторового моделювання аксесуарів та шкіргалантерейних виробів / С.Є. Каменець, Н.М. Борщевська, В.В. Васютинська // Тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів [«Наукові розробки молоді на сучасному етапі»], (Київ, 2019 р.) / Мін-во освіти і науки України, КНУТД. – К. : КНУТД, 2019. – Т. 1. С. 178–179.
5. Програмне забезпечення для 3D друку [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://3dprinter.ua/3d\\_printer\\_soft/](https://3dprinter.ua/3d_printer_soft/)
6. Матеріали для 3d-принтера: PLA и ABS-пластик, а также ПВА-пластик и нейлон [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://koloro.ua/blog/3d-tekhnologii/materialy-dlya-3d-printera-pla-i-abs-plastik-a-takzhe-pva-plastik-i-nejlon.html>
7. The vsllage «Сітова мода» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.the-village.com.ua/tags/Свідома%20мода>
8. RITALIFESTYLE «История моды» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ritalifestyle.com/2015/10/inspiration-history-of-style.html>
9. 4 seasons Анатомія стилю. Константин Кофта. Дизайнер майбутнього [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://4seasons.com.ua/Kofta-Konstantin.html>

## References

1. Kompiuterne modeliuвання system ta protsesiv. Metody obchyslen / za zah. red. Kvietnoho R.N. – Vinnytsia : VNTU, 2013. – 235 s.
2. Vikipediia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros\\_3D](https://ru.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D)
3. Kamenets S.Ie. Analiz suchasnykh system prostorovoho proektuvannia vzuttia / S.Ie. Kamenets, O.A. Koval // Zbirnyk materialiv II Mizhnarodnoi naukovoї konferentsii tekstylnykh ta feshn tekhnolohii KyivTex&Fashion (Kyiv, 1-2 lystopada 2018 r.). – Kyiv : KNUTD, 2018.
4. Kamenets S.Ie. Zastosuvannia NURBS poverkhon dlia prostorovoho modeliuвання aksesuariv ta shkirhalantereinykh vyrobiv / S.Ie. Kamenets, N.M. Borshchevska, V.V. Vasiutynska // Tezy dopovidei KhVIII Vseukrainskoi naukovoї konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv [«Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi»], (Kyiv, 2019 r.) / Min-vo osvity i nauky Ukrainy, KNUTD. – K. : KNUTD, 2019. – T. 1. S. 178–179.
5. Prohramne zabezpechennia dlia 3D druku [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [https://3dprinter.ua/3d\\_printer\\_soft/](https://3dprinter.ua/3d_printer_soft/)
6. Materialy dlya 3d-printera: PLA i ABS-plastik, a takzhe PVA-plastik i nejlon [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://koloro.ua/blog/3d-tekhnologii/materialy-dlya-3d-printera-pla-i-abs-plastik-a-takzhe-pva-plastik-i-nejlon.html>
7. The vsllage «Sitova moda» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.the-village.com.ua/tags/Svidoma%20moda>
8. RITALIFESTYLE «Istoriya mody» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.ritalifestyle.com/2015/10/inspiration-history-of-style.html>
9. 4 seasons Anatomiiia styliu. Konstantyn Kofta. Dyzainer maibutnoho [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://4seasons.com.ua/Kofta-Konstantin.html>

Рецензія/Peer review : 07.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 03.11.2020 р.

А.І. БАБИЧ, А.В. ЗАГОРСЬКА, В.П. КЕРНЕСИ, О.А. ВУШТЕЙ  
Київський національний університет технологій та дизайну

## РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧИХ СУМОЧНИХ ВИРОБІВ В ЕКОСТИЛІ

*Екологічні проблеми планети і суспільства XXI століття постали глобальним питанням для всього людства. Провідні держави світу стурбовані пошуками нових інноваційних шляхів для безпечного використання і переробки складних матеріалів і вживаних речей. Ці пошуки підтримали науковці, дизайнери, архітектори і спеціалісти різноманітних суміжних галузей. Як наслідок такої спільної і глобалізованої діяльності людей народився і стрімко розвивається напрям «екодизайн», основною метою якого є не лише раціональне і безвідходне використання матеріалів та ресурсів, але і створення сучасних об'єктів моди, дизайну і архітектури, заснованих на принципах новітніх екологічних технологій. На основі аналізу наукових праць і документальних інформаційних джерел та їх узагальнення в статті розглянуто зміст та виявлено завдання і напрями екодизайну, визначено ознаки екостилю та його вплив на формування асортименту галантерейних виробів, висвітлено роль екодизайну в суспільстві. Досліджено особливості екодизайну і екостилю, методики, методи та засоби втілення їх елементів у виробі індустрії моди. Теоретично доведено доцільність даної розробки. Досліджено експериментально і описано процес поетапного виготовлення галантерейних сумочних виробів з елементами екодизайну в екостилі на етапах створення колекції, етапах підбору матеріалів, розробки конструкції виробу і його виробництва. Розроблено і виготовлено колекцію сумочних виробів в екостилі з екологічних матеріалів за допомогою сучасних технологій складання і декорування виробів. Колекція розроблених сумочних виробів була представлена на міжнародному конкурсі «Печерські каштани» і є призером конкурсу. Перевірено згідно з вимогами стандартів ДСТУ EN ISO 20344:2009 і доведено експериментальним шляхом високі фізико-механічні характеристики натуральних шкіряних і текстильних матеріалів для виробництва виробів в стилі еко.*

*Ключові слова:* асортимент, сумка, форма, мода, бренд, екодизайн, стиль, попит, якість.

A. BABYCH, A. ZAGORSKA, V. KERNESH, O. VUSHTEI  
Kyiv National University of Technology and Design

## DEVELOPMENT OF A COLLECTION OF WOMEN'S BAGS IN ECOSTYLE

*The environmental problems of the planet and society of the XXI century have become a global issue for all mankind. The world's leading countries are concerned about finding new innovative ways to safely use and recycle complex materials and second-hand items. This search was supported by scientists, designers, architects and specialists in various related fields. As a result of such joint and globalized human activity, the direction of "ecodesign" was born and rapidly developing, the main purpose of which is not only rational and waste-free use of materials and resources, but also the creation of modern fashion, design and architecture based on the latest environmental technologies. Based on the analysis of scientific works and documentary information sources and their generalization, the article considers the content and identifies the tasks and directions of ecodesign, identifies features of eco-style and its impact on the formation of the range of haberdashery, highlights the role of ecodesign in society. Features of eco-design and eco-style, techniques, methods and means of embodiment of their elements in products of the fashion industry are investigated. The expediency of this development is theoretically proved. The process of step-by-step production of haberdashery handbags with elements of eco-design and eco-style at the stages of creating a collection, stages of selection of materials, development of product design and production is described experimentally and described. Developed and manufactured a collection of handbags in eco-style from environmentally friendly materials using modern technologies of assembly and decoration of products. The collection of developed handbags was presented at the international competition "Pechersk Chestnuts" and is the winner of the competition. Tested in accordance with the requirements of DSTU EN ISO 20344: 2009 and experimentally proven high physical and mechanical properties of natural leather and textile materials for the production of eco-style products.*

*Keywords:* assortment, bag, shape, fashion, brand, eco-design, style, demand, quality.

### Вступ

Екологічні проблеми планети і суспільства XXI ст. постали глобальним питанням для всього людства. Провідні держави світу стурбовані пошуками нових інноваційних шляхів для безпечного використання і переробки складних матеріалів і вживаних речей. Ці пошуки підтримали науковці, дизайнери, архітектори і спеціалісти різноманітних суміжних галузей. Як наслідок такої спільної і глобалізованої діяльності людей народився і стрімко розвивається напрям «екодизайн», основною метою якого є не лише раціональне і безвідходне використання матеріалів і ресурсів, але і створення сучасних об'єктів моди, дизайну і архітектури, заснованих на принципах новітніх екологічних технологій [1–5].

Сьогодні екостиль є одним з найбільш популярних напрямків у світовому дизайні. Йому властиві м'які неповторні природні форми, використання типових і не типових для розуміння людини нових і вживаних матеріалів, наприклад, натуральні шкіри, грубуватий і тендітний текстиль, оброблена і не оброблена деревина та каміння, тепла палітра кольорів землі, піску, кори і зелені. Але необхідно визначити в чому ж полягає екологічність цього стилю і як її визначити.

Перш за все, слід відзначити, що не все те золото, що блищить, і не все те «еко», що зелене [6]. Існує думка фахівців про те, що екоінтер'єр – це заставлене рослинністю приміщення, а ековиріб – це виріб, виготовлений з листя, трави чи кори дерев. Але живучи у сучасному технологічному світі зовсім не обов'язково перетворювати будинок на оранжерею, а виробі індустрії моди (одяг, взуття, галантерея) виробляти з дерева і листя для підтвердження екостилю. Для підтримання концепції еко достатньо прикрасити виріб чи приміщення відповідними натуральними чи декоративними елементами стилю. Проте,

класичні принципи «еко» стверджують, що всі виробничі істинно екологічної спрямованості протягом всього свого життєвого циклу (створення – виготовлення – використання – утилізація) повинні сприяти захисту навколишнього середовища і здоров'я людини від шкідливих впливів. Причому цей принцип має задовольняти звичайним вимогам людини, а саме: краси, зручності, ціни і якості [7].

Екостиль в дизайні виробів та інтер'єру приміщень відіграє важливу роль, адже кожному іноді хочеться відчути запах справжнього дерева чи щойно скошеної трави, шорстку поверхню плетеної циновки на дотик, насолодитись м'яким і легким шармом натуральних шовкових тканин тощо.

### Постановка завдання

Актуальним завданням дизайнерів і будинків моди, виробничників і науковців всього світу є збереження екологічної стабільності планети і зменшення кількості класичних виробництв з переробки та виготовлення сировини, напівфабрикатів, матеріалів та виробів, шляхом використання для виробництва сучасних виробів модної індустрії нових штучних, синтетичних нерозкладних матеріалів і комплектуючих [8, 9].

На основі аналізу наукових праць, документальних інформаційних джерел, патентної інформації, інтернет-ресурсу [10–14] та їх узагальнення в даній роботі необхідно розглянути зміст та виявити завдання і напрями екодизайну, визначити ознаки екостилю та його вплив на формування асортименту галантерейних виробів, висвітлити роль екодизайну в суспільстві, а також розробити колекцію сумочних виробів жіночого асортименту в екостилі з сучасних нових та вживаних природних матеріалів, використавши класичні техніки ручного плетіння і сучасні техніки декорування та складання виробів.

### Основна частина

У загальному розумінні дизайн як специфічний вид творчої діяльності розглядає людину в контексті її функціональних, культурних, естетичних і екологічних потреб в загальній системі «людина – предмет – середовище» [1–17]. Екостиль в дизайні промислових виробів не можна назвати модним чи новим в розумінні швидкоплинного явища, оскільки наші предки завжди займалися екодизайном, розмальовуючи хати природними орнаментами з квітів і пташок, оздоблюючи приміщення вишитими рушниками, перешиваючи одяг і оздоблюючи його за допомогою різних технік із використанням природних пігментів для фарб.

Екодизайн – це позачасовий напрям, він виник як антитеза бездумному споживацькому ставленню до життя і з часом буде тільки зміцнювати позиції, оскільки природний ресурс планети Земля обмежений. Екодизайн як явище – це своєрідний спосіб повернутися до витоків джерел, спроба людини відтворити природну красу у власному середовищі і в душі. Закономірний парадокс явища полягає у тому, що на жаль про екологію і екологічний стиль людство заговорило саме тоді, коли на планеті розпочались глобальні екологічні проблеми і катастрофи. Виявляється, що екодизайн створений самим життям, а ми тільки можемо підглядіти його природні і неповторні особливості та втілити їх в сучасних виробках.

Природа насправді є самим досконалим художником і дизайнером, наприклад: графіка ліній дощу, дивовижні узорі прожилок листя, павутини чи каменів, багатство відтінків природної палітри. Власне це все і є основними ознаками стилю: натуральні матеріали, природні відтінки матінки природи, прості форми, необроблені матеріали тощо. В екологічно чистому дизайні предметне середовище справжнє та натуральне. Окрім естетичних і етичних потреб, екологічний дизайн займає гуманістичну позицію стосовно людини.

Основними принципами екодизайну є використання натуральних, бажано швидко відновлюваних матеріалів, виробництво яких шкодить середовищу і не впливає негативно на екологію; не токсичність; використання енергозберігаючих та енергоощадних технологій; простота і безпека утилізації, можливість повторного використання матеріалів з мінімальною екологічною шкодою. Глобально принципи екологічного дизайну – це турбота про оточуюче середовище, зниження впливу товарів на оточуюче середовище від початку і до закінчення їх життєвого циклу. Основними матеріалами екодизайну є дерево, пробка, камінь, глина, скло, тканини вироблені з натуральних волокон (біобавовна, тканини з бамбука, льон, шерсть), натуральні шкіри. Кольори екостилю – бежевий, коричневий, білий в контрасті з чорним, зелений, синій інші.

Для розробки ескізів, асортиментного модельного ряду і пакету технічної документації на виріб, за основу було вивчено і досліджено українські екобренди [13], обрано найнеобхідніший для щоденного використання різновид жіночого аксесуару – сумочні виробни, для виготовлення яких обрано матеріал: натуральна шкіра хромового методу дублення ВРХ з лицевим покриттям, велюр, нетканий матеріал і текстиль. Деталі у виробі склалися і оздоблювалися вручну за принципом «хенд-мейду», але з використанням сучасних методів, методик і підходів. Матеріали для виготовлення колекції використані як нові, так і вживані. Як результат проекту, за ескізами виготовлена дизайнерська колекція виробів, кожен з яких є ексклюзивним і одиничним. Колекція виробів представлена на рис. 1.

Всі попередньо проведені дослідження даного проекту зумовили необхідність у проведенні експериментальних досліджень з метою вивчення особливостей і вимог до матеріалів на етапі розробки конструкції і технології виробництва та декорування модного і сучасного продукту (сумочних виробів) в екостилі, а також забезпечення вимог сучасних споживачів [18].

Зразки матеріалів та ручних ниткових швів пройшли апробацію в лабораторії за фізико-механічними показниками відповідності до вимог стандартів.



Рис. 1. Візуалізація колекції жіночих сумочних виробів в екостилі

Вирішальне значення для формування естетичних і функціональних властивостей виробу при його створенні, окрім дизайнерської складової, належить підбору сучасних матеріалів, які володіють достатніми показниками якості і відповідності до вимог європейських стандартів, а саме: міцність і стійкість лицевої плівки матеріалу і міцність декоративно-оздоблювального покриття, зносостійкість, міцність швів, ремонтоздатність тощо. Особливе значення в умовах сьогодення для виробництва аксесуарів має застосування текстильних матеріалів із високоякісним пофарбуванням, водо-брудовідштовхуючою, біостійкою, біоцидною та іншими видами спеціальних обробок та покриттів, що дозволяють продовжити термін споживання виробу зі збереження його зовнішнього вигляду.

Для досліджень якості шкіри було відібрано 5 зразків натуральних шкір ВРХ Баришівського заводу. Результати лабораторних досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

## Фізико-механічні випробувань шкір

Зразок/стан мережівки	Межа міцності при розтягу, ×9,8 МПа	Відносне видовження, %		Стійкість покривної плівки до багаторазового вигину, бали	Адгезія покривної плівки, Н/м: в сухому вигляді / у мокрому вигляді
		при навантаженні 9,8 МПа	при розриві		
№ 1 (зелений, крупнозерниста мережівка з глибоким тисненням)	1,71	54	80,0	4	341/147
№ 2 (голубий, не глибокі хаотичні лінії)	1,56	50	62,0	5	392/165
№ 3 (білий, природний стан мережівки)	1,61	30	59,5	5	382 /154
№ 4 (коричневий, природний стан мережівки)	1,50	42	60,0	4	374/148
№ 5 (рожевий, не глибокі хаотичні лінії)	1,52	41	61,5	5	381/161
Вимоги стандарту	1,50	20–40	–	3	100/200 50/70

За результатами проведених досліджень (табл. 1) слід відмітити високу міцність зразків натуральних шкір, про що свідчать дані межі міцності при розтягуванні зразків. В разі шкір з природною лицьовою поверхнею (зразок 1) характерним є більший рівень даного показника на 14 % вимог стандарту.

Враховуючи те, що характерною особливістю зразків 2 і 4 є їх шліфувана лицьова поверхня, дані зразки мають дещо нижчі показники межі міцності та видовження, однак за числовим значенням вони теж відповідають вимогам стандарту.

За результатами показників відносного видовження, всі зразки відповідають вимогам нормативного документу, і значення видовження при навантаженні 9,8 МПа не є меншим 20 %. Щодо вимог до відносного видовження при розриві – вони не визначені нормативним документом. Хоча аналіз отриманих даних вказує на те, що зразок із нешліфованою лицьовою поверхнею (зразок 1) є більш пластичними і еластичними. Інші зразки (3 та 5) мають нижчі значення відносного видовження при розриві. Це може бути обґрунтовано кількістю нанесеної покривної фарби. Адже зразок 3 згідно з технологічним циклом для досягнення однотонного рівномірного білого кольору піддається багат шаровому нанесенню покривної фарби із вмістом оксиду титану, що знижує пластичні властивості самої шкіри. Аналогічно світлий рожевий колір зразка 5 теж передбачає використання пігментів-наповнювачів, які створюють непрозору покривну плівку і тим самим ущільнюють її, що впливає на пластичність шкіри в цілому.

Особливу увагу слід звернути на рівень адгезії покривної плівки до сухої і мокрої шкіри. Для всіх шкір значення цього показника в декілька разів перевищує вимоги стандарту, що свідчить про достатню міцність з'єднання покриття з поверхнею шкіри. При цьому показник стійкості покривної плівки до багаторазового вигину відповідає вимогам стандарту для всіх зразків шкіри і свідчить про високі експлуатаційні властивості готових шкір в цілому.

Аналіз фізичних властивостей зразків шкір представлено в табл. 2. Незважаючи на те, що (окрім товщини) показники фізичних властивостей не нормуються вимогами стандарту для шкір для верху виробів індустрії моди, однак їх дослідження дає інформацію про рівень структурування та сформованості дерми шкіри.

Таблиця 2

#### Фізичні властивості шкір

Зразок шкіри	Лінійні розміри зразка шкіри		Питома вага шкіри, г/см <sup>3</sup>	Температура зварювання, °С
	Товщина, мм			
1 (зелений)	1,4		1,245	105
2 (голубий)	1,2		1,314	104
3 (білий)	1,6		1,324	104
4 (коричневий)	1,7		1,215	106
5 (рожевий)	1,3		1,341	105

Згідно з вимогами стандарту [18] по товщині шкіри, що отримані із шкур великої рогатої худоби, поділяють на тонкі, середні і товсті. Досліджувані зразки мають різні товщини, що відносить їх до різних класів за товщиною. Так, зразки 2 та 5 є тонкими шкірами, зразки 1 та 3 – шкірами середньої товщини і зразок 4 – це товста шкіра. Всі шкіри, які мають товщину більше 1,6 мм, можуть використовуватись для виготовлення безпідкладкових виробів, до таких шкір можна віднести зразок 4. Всі інші шкіри можуть бути використані у виготовленні виробів з підкладкою. Особливо це стосується зразків шкір 2 та 5.

Показник питомої ваги шкіри свідчить про масу одиниці об'єму шкіри. Для виробів індустрії моди і зокрема сумок важливим є його легкість, що забезпечує комфортність носіння виробу людиною. Найнижчі рівні питомої ваги шкіри характерні для зразків 1 та 4 (відповідно 1,245 та 1,215 г/см<sup>3</sup>), тоді як зразки 2, 3 та 5 мають питому вагу на 8–9 % вищу. Це обумовлено вмістом пігментів-наповнювачів у складі покривної фарби та необхідності формування рівномірного світлого забарвлення поверхні шкіри, що досягається багат шаровістю покриття. В цілому, велика кількість шарів та склад покривної композиції обумовлює підвищення маси одиниці об'єму шкіри та зростання питомої ваги шкіри.

В цілому, слід відмітити, що всі зразки натуральних шкір для верху виробів згідно з показниками фізичних та фізико-механічних властивостей повністю відповідають вимогам нормативних документів і є безпечними для людини.

#### Висновки

Досліджено і проаналізовано питання екодизайну у виробі індустрії моди. Досліджено питання можливості використання вживаних і нових матеріалів у створенні сучасних колекцій аксесуарів. Проаналізовано конструкції виробів, вимоги до них з урахуванням елементів екостилю, методики та технології оздоблення матеріалів і виробництва сумочних виробів. Визначено, що модна індустрія і екодизайн в Україні розвивається і оновлюється. Розроблено і виготовлено колекцію жіночих сумочних виробів в екостилі. Експериментально перевірено зразки матеріалів на відповідність до вимог стандартів за показниками. Доведено доцільність розробки. Визначено, що сучасний світ змінив бачення людини про моду і стиль, змінилися критерії, за якими споживач обирає і купує вироби. В пріоритеті ексклюзивні вироби, ручне виробництво під замовлення, оновлення вживаних виробів за принципом «хенд-мейду», а також помірна ціна і висока якість. Перспективами подальших досліджень у цьому напрямі є розширення асортименту й удосконалення якості виробів, згідно з попитом і побажаннями споживачів.

#### Література

1. Гейл К. Мода и текстиль: рождение новых тенденций / К. Гейл, Я. Каур ; перевод с англ. Т.О. Ежов ; науч. ред. Т.В. Кулахметова. – Минск : Гревцов Паблишер, 2009. – 240 с.



2. Егорова Н. Стиль в интерьере. Т. 4. Экология / Н. Егорова. – К. : Издательский Дом УМХ, 2005. – 64 с.
3. Ермаков В. Эко-дизайн: возможность почувствовать гармонию окружающего мира / Ермаков В. – М. : Гардарики, 2009. – 97 с.
4. Лавренъев А.Н. История дизайна / А.Н. Лавренъев. – М. : Гардарики, 2007. – 297 с.
5. Лебедев Ю.С. Гармония форм в живой природе и архитектуре / Ю.С. Лебедев. – М. : ЦНТИ, 1976. – 94 с.
6. Холмянский Л.М. Современный дизайн / Холмянский Л.М., Щипанов А.С. – М. : Просвещение, Творческая группа Incub, 1985. – 403 с.
7. 100 версій прогресу: мода [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http:// biggggidea.com/practices/ 1040/](http://biggggidea.com/practices/1040/)
8. Романовская М.Б. История костюма и гендерные сюжеты моды / М.Б. Романовская. – СПб : Алетея, 2010. – 442 с. : ил.
9. Екостиль в одязі – модний тренд [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ekostyle.net/eko-v-odyazi/wpcontent/themes>
10. Чуприна Н.В. Енергозберігаючі технології екодизайну у створенні сучасного одягу як продукту індустрії моди / Н.В. Чуприна // Вісник КНУТД. – К., 2013. – № 6 (74). – С. 245–253.
11. Екодизайн: матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uk.wikipedia.org/wiki/Екодизайн>
12. Екологічний бум: зелене світло для маркетингологів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.lesovod.org.ua/node/11756>
13. Українські еко-бренди [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://shotam.info/top-10-ukrains-ki-eko-brendy-i-aki-pikluiu-t-sia-pro-dovkillia/>
14. <http://www.edf.edu.au/Foundation/Abilities/>
15. <http://www.ecodesign-beispiele.at/data/1.php>
16. [http://www.philippe-starck.net/technique/1994jim\\_nature.html](http://www.philippe-starck.net/technique/1994jim_nature.html)
17. <http://www.totenrus.com/index.php/ru/magazine/moda/modnyy-ekostil>
18. Каталог нормативних документів 2006 : у 2 т. Т. 1 / Держспоживстандарт України. – К., 2006. – 327 с.

#### References

1. Gejl K. Moda i tekstil: rozhdienie novyh tendencij / K. Gejl, Ya. Kaur ; perevod s angl. T.O. Ezhov ; nauch. red. T.V. Kulahmetova. – Minsk : Grevcov Publisher, 2009. – 240 s.
2. Egorova N. Stil v interere. T. 4. Ekologiya / N. Egorova. – K. : Izdatelskij Dom UMH, 2005. – 64 s.
3. Ermakov V. Eko-dizajn: vozmozhnost pochuvstvovat garmoniyu okruzhayushego mira / Ermakov V. – M. : Gardariki, 2009. – 97 s.
4. Lavrentev A.N. Istoriya dizajna / A.N. Lavrentev. – M. : Gardariki, 2007. – 297 s.
5. Lebedev Yu.S. Garmoniya form v zhivoj prirode i arhitekture / Yu.S. Lebedev. – M. : CNTI, 1976. – 94 s.
6. Holmyanskij L.M. Sovremennij dizajn / Holmyanskij L.M., Shipanov A.S. – M. : Prosveshenie, Tvorcheskaya gruppa Incub, 1985. – 403 s.
7. 100 versii prohresu: moda [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [http:// biggggidea.com/practices/ 1040/](http://biggggidea.com/practices/1040/)
8. Romanovskaya M.B. Istoriya kostyuma i gendernye syuzhety mody / M.B. Romanovskaya. – SPb : Aleteya, 2010. – 442 s. : il.
9. Ekostyl v odiazii – modnyi trend [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ekostyle.net/eko-v-odyazi/wpcontent/themes>
10. Chuprina N.V. Enerhozberihaiuchi tekhnologii ekodyzainu u stvorenni suchasnoho odiahu yak produktu industrii mody / N.V. Chuprina // Visnyk KNUVD. – K., 2013. – № 6 (74). – S. 245–253.
11. Ekodyzain: material z Vikipedii – vilnoi entsyklopedii [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://uk.wikipedia.org/wiki/Ekodyzain>
12. Ekolohichni bum: zelene svitlo dlia marketolohiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.lesovod.org.ua/node/11756>
13. Ukrainski eko-brendy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://shotam.info/top-10-ukrains-ki-eko-brendy-i-aki-pikluiu-t-sia-pro-dovkillia/>
14. <http://www.edf.edu.au/Foundation/Abilities/>
15. <http://www.ecodesign-beispiele.at/data/1.php>
16. [http://www.philippe-starck.net/technique/1994jim\\_nature.html](http://www.philippe-starck.net/technique/1994jim_nature.html)
17. <http://www.totenrus.com/index.php/ru/magazine/moda/modnyy-ekostil>
18. Katalog normatyvnykh dokumentiv 2006 : u 2 t. T. 1 / Derzhspozhyvstandart Ukrainy. – K., 2006. – 327 s.

Рецензія/Peer review : 06.10.2020 р.

Надрукована/Printed : 04.11.2020 р.

А.І. БАБИЧ, В.П. КЕРНЕСИ

Київський національний університет технологій та дизайну

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ, ДЕКОРОВАНІХ ПЕТРИКІВСЬКИМ РОЗПИСОМ, У ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЗУТТЯ І АКСЕСУАРІВ

У статті досліджено зносостійкість і деформацію малюнків петриківського розпису, нанесених на поверхню натуральної шкіри хромового методу дублення для виробництва верху взуття та аксесуарів, а також фізико-механічні характеристики шкіряних матеріалів для виробництва виробів зі шкіри. Досліджено експериментальним шляхом процеси поетапного зношування малюнка петриківського розпису з поверхні базового матеріалу для виробництва виробів зі шкіри. Доведено експериментальним шляхом високу зносостійкість малюнків, нанесених на натуральну шкіру і на готові вироби, здатність матеріалу до багаторазового згину, розтягу, мокрого і сухого тертя.

Ключові слова: якість, зносостійкість, деформація, видовження, характеристика, гнучкість, фіксація, форма, шкіра, розпис, виріб.

A.I. BABYCH, V.P. KERNESH

National University of Technology and Design

## RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LEATHER MATERIALS DECORATED BY PETRYKIVKA PAINTING IN THE PROCESS OF MANUFACTURE AND OPERATION OF SHOES AND ACCESSORIES

The urgent task of enterprises specializing in the production of custom-made products or in small series is to study the processes and physic-mechanical characteristics of products and materials. These studies make it possible to investigate and predict the provision of high form stability and wear resistance of products with a top made of natural leather materials during product operation. The article examines the wear resistance and deformation of Petrykivka painting painted on the surface of genuine leather of the chrome tanning method for the production of upper shoes and accessories, as well as the physic mechanical characteristics of leather materials for the manufacture of leather products. According to the results of theoretical studies, a series of experimental tests of materials was carried out to prove the practical significance of the work, namely, tests for: uniaxial tension, bending, dry and wet friction, elongation and tearing, and microscopic analysis of the material surface. The processes of phased wear of the Petrykivka painting from the surface of the base material for the manufacture of leather products are investigated. It is predicted to ensure high wear resistance on the shoe printed on shoes and accessories made of genuine leather. It has been proved experimentally that the wear resistance of drawings applied to genuine leather and to finished products is high. The ability of the material to repeatedly bend, stretch, wet and dry friction is tested and proven experimentally.

Key words: quality, wear resistance, deformation, elongation, characteristic, flexibility, fixation, shape, leather, painting, product.

### Вступ

В умовах сьогодення кожна людина хоче підкреслити свою індивідуальність, тому актуальним питанням є виробництво ексклюзивних виробів і зокрема взуття та аксесуарів не великими партіями або одиничними екземплярами під замовлення. Також осучаснення улюблених виробів шляхом їх оздоблення і декорування, змінюючи при цьому зовнішній вигляд виробу. Тому в даній роботі мова буде йти про процеси оздоблення і декорування матеріалу і виробів, а також про здатність матеріалу і елементів декорування нанесених на нього у вигляді розпису залишатися придатним до використання, а значить і зносостійким тривалий час.

### Постановка завдання

Актуальним завданням підприємств, які спеціалізуються на виробництві виробів під замовлення або не великими серіями є дослідження процесів та фізико-механічних характеристик виробів і матеріалів. Дані дослідження дають можливість дослідити і спрогнозувати забезпечення високої формостійкості і зносостійкості виробів з верхом із натуральних шкіряних матеріалів під час експлуатації виробу.

Формоутворення заготовки є одним із основних етапів виробництва взуття, від виконання якого залежить не тільки формостійкість взуття при експлуатації, а й зовнішній вигляд виробу. Однак дана робота спрямована на вивчення і дослідження питань саме зносостійкості, оскільки мова йде про нанесення малюнків на готові вироби.

Найбільш вагомими властивостями шкіряних матеріалів, які в значній мірі визначають якість виробів і якість виконання основних технологічних операцій виробництва взуття, є деформаційні властивості. Величина і характер деформації виробу або його елементів залежить не тільки від способу виготовлення, кваліфікації робітника і якості інструментів, що використовуються, але і від фізико-механічних властивостей матеріалів. Дані дослідження дають можливість припустити забезпечення високої якості і зносостійкості виробів з верхом із натуральних шкіряних матеріалів як при експлуатації, ремонту і вдосконалення виробу.

Праці сучасних науковців у даному напрямку [1–3] дозволяють нам припустити, що матеріали даної групи мають здатність до багаторазових деформацій (згинання, розтягнення, формування), не втрачаючи при цьому якості. Однак, дана гіпотеза має бути перевірена і підтверджена експериментальним шляхом, оскільки зміна властивостей шкіри під час експлуатації виробу з елементами декорування чи оздоблення у

вигляді нанесених на поверхню матеріалу чи виробу малюнків суттєво впливає на технологічні процеси виробництва, експлуатації, зберігання і ремонту виробу.

Метою роботи є дослідження характеристик матеріалів та виробів декорованих петриківським розписом, шляхом випробування шкіряних матеріалів на фізико-механічні характеристики з метою підтвердження їх надійності і зносостійкості.

Об'єкти досліджень – процес декорування готових виробів і матеріалів петриківським розписом, викреслених з натуральних шкір ВРХ.

Методи досліджень – випробування матеріалів на розтяг, на згин, на сухе і мокре тертя, на адгезію, на видовження і розрив, на мікроскопічний аналіз поверхні матеріалу.

### Основна частина

Для дослідження, згідно з методиками, описаними в ДСТУ ISO 5404:2007 «Шкіра. Фізико-механічні випробування» (чинний з 01.07.2009 р.), вибрано матеріал вітчизняного виробництва – ялівку, що виробляє завод «Чинбар», м. Київ [4, 5].

На матеріал нанесено малюнок петриківського розпису вручну, дотримуючись методики (рис. 1) у вісім етапів, а саме:

- розробка ескізів композиції на папері схематично олівцем та в кольорі, визначення головного ескізу;
- обезжирення ділянки шкіри на якій буде здійснюватися розпис;
- нанесення контурів композиції (листя, квіти, калина);
- нанесення пензлем з білки потрібної величини «підмальовок», весь малюнок виконується білою акриловою фарбою, мазки виконують за принципом петриківського розпису; акрилова фарба має здатність просвічуватися, завдяки білому підмальовку, кольори у готовій роботі будуть виглядати яскравіше;
- формування ягід на малюнку за допомогою піпетки; для ягід підмальовок не потрібен;
- після остаточного висихання фарби нанесеною у якості підмальовка, виконується основний малюнок в техніці петриківського розпису; виконується розпис пензлем;
- нанесення мілких елементів на розпис, прожилок листя і квітів та з'єднання елементів малюнку в єдиний ансамбль; цей етап виконують за допомогою спеціального пензля «кошачки»;
- після остаточного висихання фарби малюнку, його закріплюють лаком для шкіри.



Рис. 1. Етапи створення петриківського розпису на шкіряних матеріалах

Для проведення досліджень всі зразки згідно методик викроюють з матеріалу різакон «лопаточка» і «круг». Після чого протягом 24 год витримують в ексікаторі для стабілізації напруги, після чого проводяться поетапно дослідження на різні групи фізико-механічних характеристик (рис. 2).



Рис. 2. Підготовка зразків матеріалів до випробувань на фізико-механічні характеристики:  
а – розкрій зразків; б – витримка в ексикаторі

Наступним етапом для дослідження на розтяг матеріалів вершу, ГОСТ 938.11 «Кожа. Метод испытання на растяжение», було взято 8 зразків [6]. Випробування проводяться на зразках, що мають форму двосторонньої лопатки. Згідно методики досліджень зразки мають довжину робочої ділянки 50 мм і ширину 10 мм. Випробуванням на розтяг піддавалися чотири зразки шкіри ВРХ, ялівка: два поздовжніх і два поперекових. Перед випробуванням робочу частину зразка поділяють прямими лініями на п'ять рівних ділянок, які нумерують порядковими номерами з 1 по 5, а потім вимірюють товщину кожної ділянки.

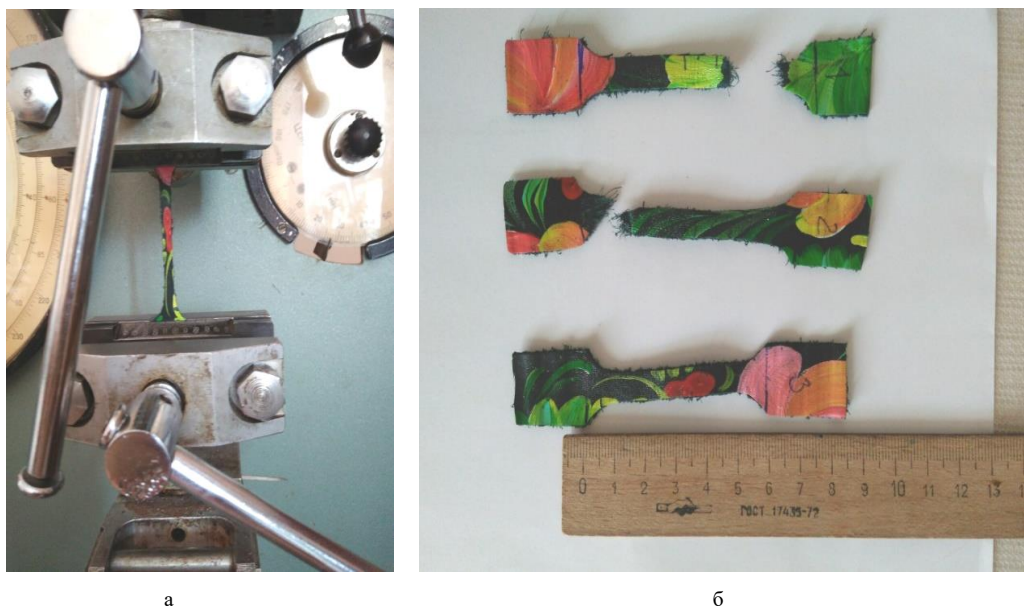


Рис. 3. Випробування зразків на розтяг, розривна машина РТ-250:  
а – візуалізація досліджуваного об'єкта; б – оцінка результатів дослідження

Після витримки зразків в нормальних умовах (ексикатор), досліджуваний зразок шкіри закріплюють в затискачах, щоб його геометрична вісь збігалася з серединами затискачів, а лінії, що обмежують робочу ділянку з їх гранями (рис. 3). Перед випробуванням стрілки-показчики шкали навантажень і шкали подовжень повинні знаходитися на нульовій поділці.

При включенні електродвигуна нижній затискач з допомогою силової пари гвинт – гайка опускається вниз і через зразок тягне за собою верхній затиск. При цьому зразок подовжується. Рух верхнього затискача через важільну передачу відхиляє вантаж маятника, створюючи відповідне зусилля розтягування. Величина зусилля з допомогою зубчастої рейки, шестерні і укріпленої на одній осі з нею стрілки фіксується на шкалі навантажень. Коли зусилля збільшиться настільки, що станеться розрив зразка, маятник з вантажем плавно повернеться до свого початкового положення. До нульового поділу повернеться і стрілка шкали навантажень. Подовження зразка фіксується в міліметрах за шкалою подовжень.

Межа міцності при розтягу зразків визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

де  $P$  – навантаження при розриві, Н;  $F$  – площа поперечного перерізу зразка в місці розриву, м<sup>2</sup>.

Результати експериментальних досліджень зразків матеріалів на розтяг занесено до таблиці 1.

Таблиця 1

**Результати експериментальних досліджень зразків матеріалів на розтяг**

№ з/п	Шкіра хромового методу дублення	Товщина, мм					Середня товщина, мм	Середня площа, мм <sup>2</sup>
		1	2	3	4	5		
1	Ялівка середня шліфована	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,08	10,8
2	Ялівка середня шліфована	1	1	1	1	1	1	10
3	Ялівка середня шліфована	1	1	1	1	1	1	10
4	Ялівка середня шліфована	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,08	10,8
5	Ялівка середня	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	12
6	Ялівка середня	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,34	13,4
7	Ялівка середня	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	14
8	Ялівка середня	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	14

Результати експериментальних досліджень зразків матеріалів на видовження матеріалу при різному навантаженні занесено до таблиці 2.

Таблиця 2

**Результати експериментальних досліджень зразків матеріалів на видовження матеріалу при різному навантаженні**

№ з/п	Шкіра хромового методу дублення	Навантаження при розриві допустимі за ГОСТ, МПа	Видовження, мм			
			При навантаженні 9,8* (4,9) МПа	При розриві	Залишкове	Місце розриву, кількість розривів
1	Ялівка середня шліфована	19,4	18	34	13	1
2	Ялівка середня шліфована	25,8	18	34	8	4
3	Ялівка середня шліфована	24,8	15	32	8	1
4	Ялівка середня шліфована	12,8	20	26	6	4
5	Ялівка середня	9	30	-	10	5
6	Ялівка середня	15,2	32	38	15	1
7	Ялівка середня	24	18	28	10	4
8	Ялівка середня	28,8	14	27	10	4

Визначення стійкості покриття до багаторазового згинання визначається згідно з ГОСТ 13868 «Кожа хромовая для верха обуви. Метод определения устойчивости покрытия к многократному изгибу». Результати лабораторних досліджень занесено до таблиці 3.

Таблиця 3

**Результати експериментальних досліджень зразків матеріалів на визначення стійкості до багаторазового згинання**

№ з/п	Зразок шкіри	Поява тріщин, об
1	Ялівка середня шліфована	6659
2	Ялівка середня шліфована	Більше 15500
3	Ялівка середня	Більше 15500
4	Ялівка середня	Більше 15500

Стійкість покриття на шкірі до багаторазового вигину визначають на приладі ІПК-2. Цей показник характеризується кількістю вигинів зразка до появи дефектів на покритті [8]. Для випробування із стандартної ділянки шкіри вирізають прямокутні зразки шкіри розміром 45×80 мм і витримують їх протягом доби в ексикаторі над сірчаною кислотою. Потім зразок згинають посередині в поздовжньому напрямку, вставляють у верхній затискач приладу і затискають гвинтом. Частина зразка яка підноситься над затискачем, відвертають вниз за затискач так, щоб край вигину спадав вертикально вниз. Вільний кінець зразка без натягу закладають у нижній затискач і щільно затискають гвинтом (див. рис. 4).

Перевірку лицевої поверхні зразків шкір проводять при вимкненому приладі і додатковому освітленні (див. рис. 5).

Визначення стійкості покриття до сухого та мокрого тертя виконується згідно ГОСТ 938.29 «Кожа. Метод испытання устойчивости окраски к сухому и мокрому трению» та занесено до таблиці 6 [9].

Метод визначення стійкості покриття на шкірі до сухого і мокрого тертя полягає в стиранні лицьовій поверхні зразка шкіри до порушення покриття. Визначення цього показника проводять на приладі ІПК-1 (див. рис. 6, 7).

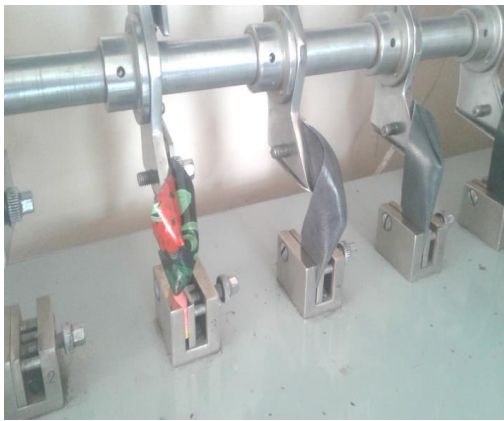


Рис. 4. Випробування зразків на стійкість до багаторазового згинання, прилад ППК-2



Рис. 5. Мікроскопічний аналіз НШ (ялівка середня шліфована) на наявність тріщини лицевого шару, інструмент-мікроскопічна лупа



Рис. 6. Випробування зразків на мокре і сухе тертя, 100–300 обертів



Рис. 7. Дослідний зразок НШ на мокре і сухе тертя, 100–300 обертів

Зразки шкір мають форму кола діаметром 40 мм. Перед проведенням випробування досліджуваний зразок (діаметром 25 мм) повсті витримують у воді при кімнатній температурі не менше 4 годин.

Таблиця 4

**Результати експериментальних досліджень зразків матеріалів на визначення стійкості покриття до дії тертя**

№ з/п	Шкіра	Кількість обертів машини
<b>Сухе тертя</b>		
1	Ялівка середня	Більше 500
2	Ялівка середня шліфована	Більше 500
3	1	450
4	2	300
5	3	Більше 500
6	4	Більше 500
7	5	450
<b>Мокре тертя</b>		
1	Ялівка середня	Більше 200
2	Ялівка середня шліфована	100
3	1	Більше 200
4	2	Більше 200
5	3	190
6	4	Більше 200
7	5	40

Намоклий повсть підсушують наступним чином: зразок на фільтрованому папері (8 шарів) кладуть на стіл приладу і на нього опускають шпindel на 3 с. Потім підсушений повсть вставляють у паз шпинделя. Зразки шкір закріплюють на столі приладу. На закріпленій зразок шкіри опускають шпindel з повстю. Встановлюють лічильник на 0 і включають прилад.

Випробування проводять без додаткового навантаження на шпindel. Зразки перевіряють через кожні 100 обертів, для емульсійного покриття через кожні 20 обертів, періодично міняючи напрям обертання шпинделя. Випробування закінчують при появі першої ознаки порушення покриття. За відсутності порушення покриття випробування припиняють після 500 обертів, для шкір з нітроемульсійним покриттям і після 200 обертів для шкір з емульсійним покриттям.

Після проведення досліджень і підтвердження зносостійкості малюнків на шкірі, виготовлено ансамбль шкіргалантерейних виробів в колекції взуття (табл. 4, рис. 8).



Рис. 8. Ансамбль виробів зі шкіри з елементами петриківського розпису

### Висновки

За результатами досліджень на фізико-механічні характеристики зразків матеріалу на: на одноосне і двоосне розтягнення, на згин, на сухе і мокре тертя, на видовження і розрив, на мікроскопічний аналіз поверхні матеріалу, встановлено, що досліджувані зразки з нанесеним на них малюнком петриківського розпису є зносостійкими в межах стандартизованих величин, про що красномовно говорять табличні дані результатів експериментальних досліджень.

Прогнозовано забезпечення високої зносостійкості розпису і виробів з натуральних шкір різних фасонів і форм. Доведено експериментальним шляхом доцільність даних робіт.

### Література

1. Козарь О.П. Оцінка показників формостійкості шкір, модифікованих органічно-мінеральними композиціями / О.П. Козарь, О.Р. Мокроусова, Т.М. Віктор // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2013. – Вип. 41. – С. 135–137.
2. Kozar O.P. Deformation characteristics of leather for shoe upper, filled with natural minerals / O.P. Kozar, O.R. Mokrousova, V. Wozniak // Journal of Chemistry and Chemical Engineering (USA). – 2014. – № 8. – P. 47–53. –ISSN 1934-7375.
3. Козарь О.П. Оцінка релаксаційно-деформаційних характеристик шкір для верха взуття, наповнених природними мінералами / О.П. Козарь, О.Р. Мокроусова, В.П. Коновал // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – № 4. – С. 107–115.
4. Рибальченко В.В. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань : навчальний посібник / Рибальченко В.В., Коновал В.П., Дрегуляк Е.П. – К. : КНУТД, 2010. – 395 с.
5. ДСТУ ISO 5404:2007. Шкіра. Фізико-механічні випробування.
6. ГОСТ 938.11. Кожа. Метод испытания на растяжение.
7. ГОСТ 13868. Кожа хромовая для верха обуви. Метод определения устойчивости покрытия к многократному изгибу.
8. ГОСТ 939. Кожа для верха обуви. Технические условия.
9. ГОСТ 938.29. Кожа. Метод испытания устойчивости окраски к сухому и мокрому трению.

---

**References**

1. Kozar O.P. Otsinka pokaznykiv formostiikosti shkir, modyfikovanykh orhanichno-mineralnymy kompozytsiiamy / O.P. Kozar, O.R. Mokrousova, T.M. Viktor // Naukovi notatky. – Lutsk : LNTU, 2013. – Vyp. 41. – S. 135–137.
2. Kozar O.P. Deformation characteristics of leather for shoe upper, filled with natural minerals / O.P. Kozar, O.R. Mokrousova, B. Wozniak // Journal of Chemistry and Chemical Engineering (USA). – 2014. □ № 8. □ R. 47–53. –ISSN 1934-7375.
3. Kozar O.P. Otsinka relaksatsiino-deformatsiinykh kharakterystyk shkir dlia verkhu vzuttia, napovnenykh pryrodnymy mineralamy / O.P. Kozar, O.R. Mokrousova, V.P. Konoval // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2013. – № 4. – S. 107–115.
4. Rybalchenko V.V. Materialoznavstvo vyrobiv lehkoj promyslovosti. Metody vyprobuvan : navchalnyi posibnyk / Rybalchenko V.V., Konoval V.P., Drehulias E.P. – K. : KNUVD, 2010. – 395 s.
5. DSTU ISO 5404:2007. Shkira. Fyzyko-mekhanichni vyprobuvannia.
6. GOST 938.11. Kozha. Metod ispytaniya na rastyazhenie.
7. GOST 13868. Kozha hromovaya dlya verha obuvi. Metod opredeleniya ustojchivosti pokrytiya k mnogokratnomu izgibu.
8. GOST 939. Kozha dlya verha obuvi. Tehnicheskie usloviya.
9. GOST 938.29. Kozha. Metod ispytaniya ustojchivosti okraski k suhomu i mokromu treniyu.

Рецензія/Peer review : 11.10.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.



## РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ МОЛОДІЖНИХ ПОЯСНИХ СУМОК В СТИЛІ «БАНАНКА»

*Втілення тенденцій моди, сміливих конструктивних рішень, елементів комфорту, мінімалізм, еко-дизайн і використання сучасних матеріалів у виробництві аксесуарів є актуальною проблемою сьогодення, оскільки найважливішою тенденцією сьогодні є саме мінімалізм, раціональність та екологічність. Свідоме ставлення людей до своїх потреб і бажань, а також до вимог і потреб середовища та планети, нарешті, поширилося і на продукцію індустрії моди. Сьогодні людина хоче бути модною, мобільною, раціональною, тому розробка і виготовлення виробів, що не сковують рухи людини, звільняють руки від носіння сумок і щоденні міні організери їх речей і гаджетів завжди у тренді. В статті досліджено і описано історичний експеримент, розвитку та трансформації поясних сумочних виробів, матеріали для виробництва, конструкції, призначення. Теоретично доведено актуальність виробів на даний час. Досліджено питання формування асортименту молодіжних поясних аксесуарів за результатами теоретико-аналітичних досліджень і аналізу думок споживачів даного сегменту виробів опитаних у роздрібних торгових мережах міста Києва та в соціальних мережах. Досліджено історію виникнення, розвитку і трансформації аксесуару, конструктивні особливості та вимоги до виробу, властивості матеріалів і вимоги до них згідно зі стандартами. Досліджено експериментально процес поетапного виготовлення поясних виробів з метою їх удосконалення на етапах створення конструкції і виробництва. Розроблено ескізний проєкт на колекцію молодіжних поясних аксесуарів, пакет конструкторсько-технологічної документації на виробу даної серії з елементами удосконалення етапів виробництва. Виготовлено, апробовано і запущено у виробництво на підприємстві ТОВ «Люкс Естетик» лінійку поясних молодіжних аксесуарів в стилі «бананка».*

*Ключові слова: мода, аксесуар, форма, асортимент, якість, комфорт, стиль, виріб.*

A. BABICH, V. GORBENKO

Kyiv National University of Technology and Design

## DEVELOPMENT OF A COLLECTION OF BANANA-STYLE YOUTH BELT BAGS

*Actuality of theme. The implementation of fashion trends, bold design solutions, elements of comfort, minimalism, eco-design and the use of modern materials in the production of accessories is an urgent problem today, because the most important trend today is minimalism, rationality and environmental friendliness. The conscious attitude of people to their needs and desires, as well as to the requirements and needs of the environment and the planet, has finally spread to the products of the fashion industry. Today, people want to be fashionable, mobile, rational, so the development and manufacture of products that do not restrict human movement, free your hands from carrying bags and a daily mini organizer of their things and gadgets are always in trend. The article investigates and describes the historical excursion of origin, development and transformation of belt handbags, materials for production, construction, purpose. The relevance of the products at present is theoretically proved. The issue of forming the range of youth belt accessories based on the results of theoretical and analytical research and analysis of the opinions of consumers of this segment of products surveyed in retail chains of the city of Kiev and in social networks. The history of origin, development and transformation of the accessory, design features and requirements for the product, properties of materials and requirements for them according to standards are studied. The process of stage - by - stage production of belt products with the purpose of their improvement at the stages of construction and production creation is investigated experimentally. The sketch project for a collection of youth belt accessories, a package of design and technological documentation for products of this series with elements of improvement of stages of production is developed. A line of belt youth accessories in the style of "banana" was manufactured, tested and put into production at the enterprise Lux Aesthetic LLC.*

*Key words: fashion, accessory, form, assortment, quality, comfort, style, product.*

### Вступ

Бананка – це модний і сучасний поясний аксесуар, який уособлює в собі все, що необхідно мати під рукою сучасній молодій людині. Сумка, в загальному розумінні, вважається невід’ємним атрибутом гардеробу будь-якої людини. В світі існує велика кількість різновидів і моделей сумок, які між собою відрізняються кольором, формою, розміром і призначенням. Але в даній статті мова піде виключно про дуже цікавий і практичний аксесуар, який є компактним і одночасно просто незамінним у повсякденному житті сучасної людини для перенесення і зберігання необхідних щоденно гаджетів, таких як ключі, телефони, гаманці, документи. Їх уже настільки багато, що вже не розмістити у кишенях одягу [1].

Історія поясних сумок почалася в ті далекі часи, коли одяг виготовлявся без кишень, а перші гроші вже з’явилися. Це були залізні і мідні монети, а згодом і срібні та золоті, які необхідно було переносити щоденно для розрахунку у крамницях за певні товари і послуги. Це була дійсно актуальна проблема тих часів. Ось тоді і знайшлися кмітливі і спритні кравці, які вигадали спеціальні поясні мішечки, в яких можна зберігати, транспортувати і щоденно переносити гроші у невеликій кількості. Саме по сумці-мішечку, що висів на поясі, можна було визначити статус людини і її статки. У простолюдів вони були з простих міцних матеріалів. Представники вищих верств суспільства могли дозволити собі сумки-мішечки з дорогих тканин та м’яких шкір розшиті вслякими візерунками і дорожнім камінням. Носили в таких сумочках гроші, парфуми, хустинки, нюхальну сіль і тютюн, ліки та навіть інструменти і зброю [2–5].

Поясні сумки, які не соромно носити і сьогодні, з’явилися у XIV столітті і належать до епохи Відродження. Це по суті був звичайний підвісний гаманець, який мав назву «омоньєр» (рис. 1) [2–9].

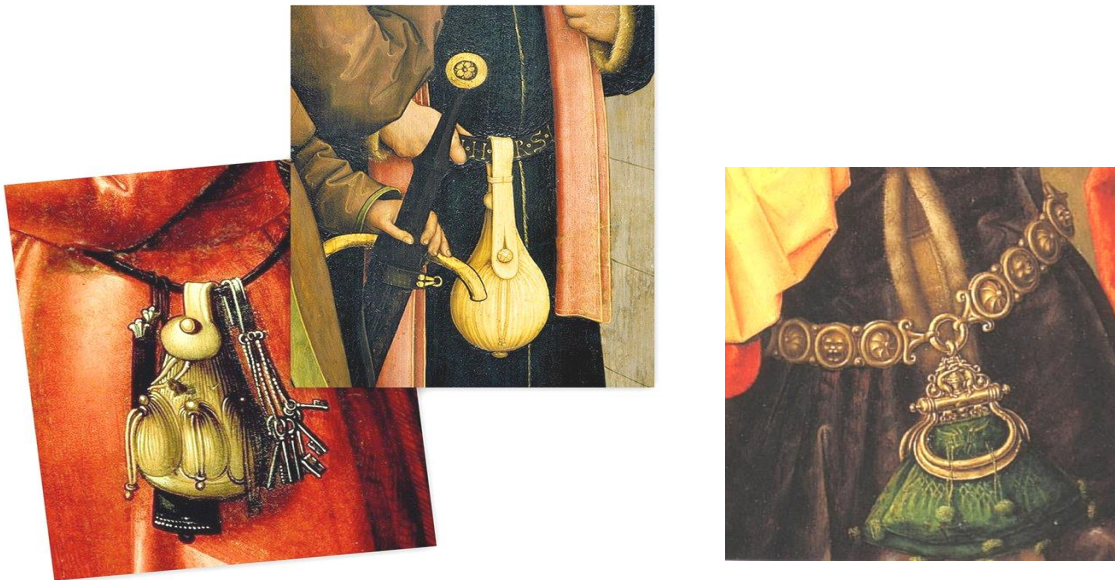


Рис. 1. Візуалізація поясних сумок «омоньєрів» епохи Відродження

В епоху гранжа поясна сумка привернула до себе увагу і завоювала прихильність мільйонів людей різних континентів, серед яких були і американські знаменитості, і рок музиканти, і спортсмени, і політики різних країн. Вона була популярною серед усіх прошарків суспільства, починаючи від тусовщиків і кінозірок і закінчуючи торговцями на ринку. У далекі 90-і без цього аксесуару пересічні громадяни не уявляли свого існування. Назви цей аксесуар також мав різні в силу вихованості і освіченості носіїв і призначення для якого аксесуар було придбано. Він називався у різні часи так: «бельтбег», «омоньєр», «сумка-нирка», «барижка», «кенгурушка», «кондукторка», «бананка» тощо. Як багать імен у цієї модної сумки і яку велику і заслужену любов та визнання вона несе крізь століття, залишаючись і зараз модним і затребуваним аксесуаром [8, 9].

#### Постановка завдання

Актуальним завданням підприємств, особливо тих, які спеціалізуються на виробництві аксесуарів, є швидка переорієнтація і зміна асортименту виробів, оскільки примхлива пані мода швидкоплинна і весь час потребує вибуху емоцій, зміни конструкцій виробів, осучаснення матеріалів і їх кольорів, поєднання не поєднуваних речей і понять, надприродного стилю, еко-дизайну та креативу.

Однак, якщо мова йде про виробництво одиничних чи серійних виробів, необхідно пам'ятати про чітке дотримання вимог стандартів щодо використання матеріалів і комплектуючих, особливостей форм і конструкцій виробу, технологічних режимів і параметрів виробничого процесу. Не менш важливим є проведення науково-пошукових та маркетингових досліджень вимог до виробів і матеріалів, особливостей конструкцій, технологій з метою удосконалення конкретної лінійки виробів та виробництва виробів в цілому, осучаснення конструкції, вдосконалення або покращення показників якості та комфортності. Даний спектр задач дослідження дає можливість дослідити, проаналізувати та сформулювати перелік дій, які забезпечують необхідний рівень якості конструкцій, технологій і готових виробів [11].

**Метою роботи** є розробка та виготовлення колекції молодіжних поясних аксесуарів під назвою сумка «бананка» для літнього сезону носіння та розробка повної конструкторсько-технологічної документації на лінійку виробів.

Для здійснення мети даної роботи і виконання задач необхідно провести маркетингові дослідження серед покупців товарів даної групи аксесуари у роздрібних та інтернет-мережах методом анкетування. Вчасно проведений комплекс робіт на підприємстві веде до удосконалення асортименту виробів, їх конструкцій, удосконалення технологічних процесів виробництва, покращення його якісних і кількісних показників та веде до прибутку підприємства і його визнання в галузі.

#### Основна частина

У процесі дослідження і анкетування споживачів на етапі розробки і втілення ідеї проекту виявлено, що молодь, перш за все, цінує якість, простоту, екологічність і комфорт. Ціна на вироби звичайно є важливою, але не першочерговою при виборі аксесуару. При цьому, у процесі дослідження виявлено, що до частих змін моди більше властиві вироби для жінок та молоді, тому щорічне оновлення асортименту моделей аксесуарів має бути максимальним і відповідним до тенденцій моди [10, 11].

В ході розробки моделей аксесуарів необхідно враховувати функціональну виразність форми, стильову спрямованість, гармонійну цілісність композиційної структури і досконалість виконання виробу. Окремо необхідно говорити про спектр сучасних екологічних, нетипових і класичних матеріалів для виробництва модних аксесуарів.

В цілому виробники мають бути сучасними, модними, яскравими, раціональними, не дорогими, екологічними та безпечними для здоров'я людини і оточуючого середовища.

У ході дослідження була розроблена анкета і опитані фахівці торгівлі та пересічні українці за ескізами виробів на предмет можливості реалізації розроблених згідно з проектом аксесуарів, а саме жінки і чоловіки віком від 15 до 70 років, оскільки поясні сумки із задоволенням носять люди різних вікових груп населення України.

Анкетування респондентів було проведено в різних районах міста Києва та у відомих соцмережах, таких як «Instagram», «Facebook», «Viber» та «WhatsApp». Всього було опитано 230 осіб, з них у Києві проживає 68 %, в інших містах – 32 %. Результати дослідження оброблені на персональному комп'ютері з похибкою 4 %.

За результатами проведених досліджень були виявлені причини незадоволеного попиту, що зазначені на рис. 2, а саме: 32 % респондентів назвали головною причиною незадоволеного попиту якість виробів, 25 % – високу ціну, 9 % – велика вага виробу, 14 % – дизайн (незадоволення формою і розмірами аксесуару), 20 % – низька зносостійкість (не висока міцність матеріалу і швів аксесуарів). Така велика кількість споживачів, що не змогли задовольнити свій попит пояснюється недосконалою системою просування продукції на ринку, системою ціноутворення, відсутністю швидкого відгуку на запити споживача і моди.

Протягом останніх років можна спостерігати тенденцію зміни цінностей і стандартів життя споживачів: збільшення прихильності людей до купівлі виробів різного призначення в магазинах, а не на ринках і лотках, тобто в хороших умовах (наявність примірочних кабін, продавців-консультантів тощо) [11].

Для більшості опитуваних не має значення вітчизняний товар чи імпортований – 65 %, лише 20 % налаштовані на покупку імпортованого, а 15 % – лише українського виробництва. Багато з опитуваних зазначали, що із задоволенням би купували українське, зважаючи на ціну і якість, однак товар не представлений в місцях, де вони зазвичай мешкають і його купують.

В результаті аналізу науково-технічних та історико-літературних джерел вимог нормативно-технічної літератури на аксесуари, наукових розробок дослідників України і світу попередніх років, таких як Коновал В.П., Мороз О.Л., Омельченко Н.М., Бегняк В.І. та інші [12, 13], сучасних напрямків моди та думок споживачів, отриманих шляхом аналізу даних анкетування за критеріями вагомості, була розроблена асортиментна серія поясних аксесуарів.

На основі ескізного проекту, який складався з фор-ескізів та творчого пошуку раціональної форми і розмірів даної розробки, сучасних моделей і їх кольорової гами було розроблено робочі креслення обраної моделі та деталювання (рис. 3), підібрано і описано групи матеріалів, описано поетапний технологічний процес виробництва виробів. За результатами дослідження виготовлено дослідні зразки виробів (рис. 4).

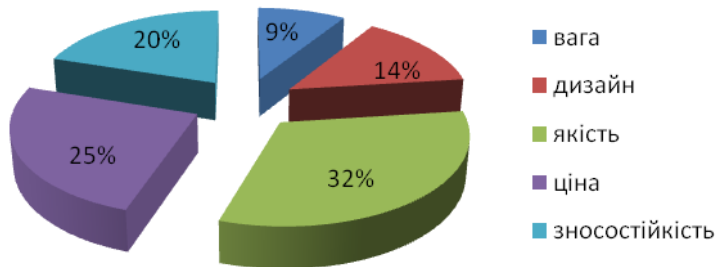


Рис. 2. Критерії вагомості споживчих переваг

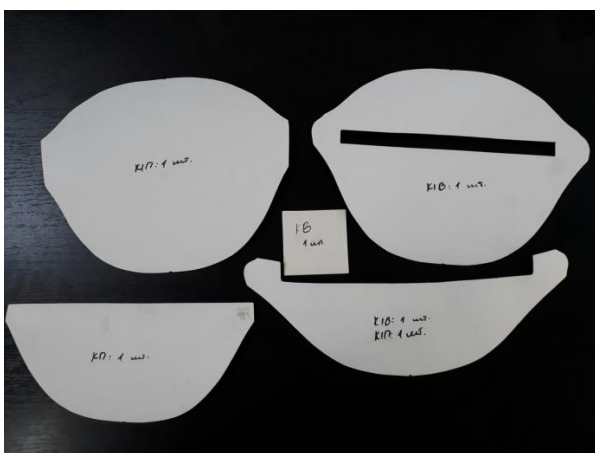


Рис. 3. Лекала моделі поясної сумки «бананка»



Рис. 4. Візуалізація виробів проекту

Зразки піддавалися експериментальним випробуванням на фізико-механічні характеристики, що підтвердили високі показники якості і комфортності виробу [14–18]. Зроблена спроба удосконалення базового технологічного процесу за рахунок використання методик ручної корекції деталей.

Як результат роботи виготовлено і запущено у виробництво промислово колекцію аксесуарів, а саме поясних молодіжних сумок «бананка» в умовах ТОВ «ВИТЯ», м. Київ, яка є успішною і має попит

споживачів. Отже, слід відмітити, що всі дослідні зразки і вироби промислової колекції аксесуарів вироблені з натуральних шкір для галантерейних виробів, мають достатньо високу якість матеріалів і ниткових швів, конструктивно відповідають вимогам стандартів і тенденцій моди [16–18]. Готові вироби пройшли експериментальну перевірку і згідно з показниками фізичних та фізико-механічними властивостями повністю відповідають вимогам нормативних документів, є безпечними і надійними для дитини і оточуючого середовища.

### Висновки

Визначено, що сьогоднішня ситуація на ринку товарів індустрії моди розвивається відповідно до принципів теорії попиту. Наразі в країні склалась доволі сприятлива ситуація для нарощування темпів виробництва і розвитку малого і середнього бізнесу.

Останні декілька років суттєво змінилися фактори, за якими український споживач вирішує купувати вироби. В пріоритеті залишаються індивідуальність і ручне виробництво одиничних виробів чи виробів малих серій, а також ціна і якість.

Отже, за результатами теоретико-аналітичних та маркетингових досліджень розроблено ескізний проект на колекцію молодіжних поясних аксесуарів, пакет конструкторсько-технологічної документації на вироби даної серії з елементами удосконалення етапів виробництва.

Виготовлено, апробовано і запущено у виробництво на підприємстві ТОВ «Люкс Естетик» лінійку поясних молодіжних аксесуарів в стилі «бананка».

### Література

1. Українські еко-бренди [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://shotam.info/top-10-ukrainski-eko-brendy-iaki-pikluiu-sia-pro-dovkillia/>
2. Захаржевская Р.В. История костюма: От античности до современности / Захаржевская Р.В. – 3-е изд., доп. – М. : Рипол Классик, 2005. – 306 с.
3. Блейз А. История в костюмах. От фараона до денди / Блейз Анна. – М. : Олма-Пресс, 2002. – 176 с.
4. Дудникова Г.П. История костюма : учебник / Дудникова Г.П. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2001. – 416 с.
5. Гейл К. Мода и текстиль: рождение новых тенденций / К. Гейл, Я. Каур ; перевод с англ. Т.О. Ежов ; науч. ред. Т.В. Кулахметова. – Минск : Гревцов Паблишер, 2009. – 240 с.
6. Егорова Н. Модный стиль / Н. Егорова. – К. : Издательский Дом УМХ, 2005. – 64 с.
7. Ермаков В. Эко-дизайн: возможность почувствовать гармонию окружающего мира / Ермаков В. – М. : Гардарики, 2009. – 97 с.
8. 100 версій прогресу: мода [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://biggggidea.com/practices/1040/>
9. Романовская М.Б. История костюма и гендерные сюжеты моды / М.Б. Романовская. – СПб : Алетейя, 2010. – 442 с. : ил.
10. Гаркавенко С.С. Маркетинг : підручник / Гаркавенко С.С. – Київ : Лібра, 2002. – 705 с.
11. Сайт державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua>
12. Бегняк В. І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри : навч. посібник / Віра Іванівна Бегняк. – Хмельницький, 2002. – 260 с.
13. Особенности проектирования коллекций разных типов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.robit.ru/art/roektirovanie\\_kollekzii](http://www.robit.ru/art/roektirovanie_kollekzii).
14. Миролобова О.В. Удосконалення технологічних параметрів виконання ниткових з'єднань при виробництві шкіргалантерейних виробів / О.В. Миролобова, А.І. Бабич // Технології та дизайн. – 2017. – № 1.
15. Варавка В.С. Вдосконалення процесу поетапного оцінювання відповідності виробів зі шкіри [Електронний ресурс] / В.С. Варавка, А.І. Бабич // Технології та дизайн. – 2016. – № 4. – Режим доступу : <http://nbuv.gov.ua/UJR N/td 2016>.
16. Гаркавенко С.С. Дослідження фізико-механічних характеристик шкіряних матеріалів при виготовленні і експлуатації виробів [Електронний ресурс] / С.С. Гаркавенко, А.І. Бабич, М.В. Долженко // Технології та дизайн. – 2017. – № 1. – Режим доступу : <http://nbuv.gov.ua/UJR N/td 2017>.
17. Вироби текстильно-галантерейні. Метод визначення лінійних розмірів : ДСТУ 3924-99 (ГОСТ 16218.1-93). – [Чинний від 2000-10-31]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 25 с. – (Національні стандарти України).
18. Система показників якості продукції. Вироби текстильно-галантерейні побутового призначення : ДСТУ 3926-98 (ГОСТ 4.13-89). – К. : Держспоживстандарт України, 1998. – 55 с. – (Національні стандарти України).

### References

1. Ukrainski eko-brendy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://shotam.info/top-10-ukrainski-eko-brendy-iaki-pikluiu-sia-pro-dovkillia/>

2. Zaharzhetskaya R.V. Istoriya kostyuma: Ot antichnosti do sovremennosti / Zaharzhetskaya R.V. – 3-e izd., dop. – M. : Ripol Klassik, 2005. – 306 c.
3. Blejz A. Istoriya v kostyumah. Ot faraona do dendi / Blejz Anna. – M. : Olma-Press, 2002. – 176 s.
4. Dudnikova G.P. Istoriya kostyuma : uchebnyk / Dudnikova G.P. – Rostov-na-Donu : Feniks, 2001. – 416 s.
5. Gejl K. Moda i tekstil: rozhdenie novyh tendencij / K. Gejl, Ya. Kaur ; perevod s angl. T.O. Ezhov ; nauch. red. T.V. Kulahmetova. – Minsk : Grevcov Publisher, 2009. – 240 s.
6. Egorova N. Modnyj stil / N. Egorova. – K. : Izdatelskij Dom UMH , 2005. – 64 s.
7. Ermakov V. Eko-dizajn: vozmozhnost pochuvstvovat harmoniyu okruzhayushego mira / Ermakov V. – M. : Gardariki, 2009. – 97 s.
8. 100 versii prohresu: moda [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://biggggidea.com/practices/1040/>
9. Romanovskaya M.B. Istoriya kostyuma i gendernye syuzhety mody / M.B. Romanovskaya. – SPb : Aletejya, 2010. – 442 s. : il.
10. Harkavenko S.S. Marketynh : pidruchnyk / Harkavenko S.S. – Kyiv : Libra, 2002. – 705 s.
11. Sait derzhavnogo komitetu statystyky Ukrainy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.ukrstat.gov.ua>
12. Behniak V. I. Osnovy konstruiuvannia i proektuvannia vyrobiv iz shkiry : navch. posibnyk / Vira Ivanivna Behniak. – Khmelnytskyi, 2002. – 260 s.
13. Osobennosti proektirovaniya kollekcij raznyh tipov [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : [www.po6iv.ru/art/roektirovanie\\_kollekcii](http://www.po6iv.ru/art/roektirovanie_kollekcii).
14. Myroliubova O.V. Udokonalennia tekhnolohichnykh parametriv vykonannia nytkovykh ziednan pry vyrobnystvii shkirhalantereinykh vyrobiv / O.V. Myroliubova, A.I. Babych // Tekhnolohii ta dyzain. – 2017. – № 1.
15. Varavka V.S. Vdoskonalennia protsesu poetapnoho otsiniuvannia vidpovidnosti vyrobiv zi shkiry [Elektronnyi resurs] / V.S. Varavka, A.I. Babych // Tekhnolohii ta dyzain. – 2016. – № 4. – Rezhym dostupu : <http://nbuv.gov.ua/UJR N/td 2016>.
16. Harkavenko S.S. Doslidzhennia fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk shkirianykh materialiv pry vyhotovlenni i ekspluatatsii vyrobiv [Elektronnyi resurs] / S.S. Harkavenko, A.I. Babych, M.V. Dolzhenko // Tekhnolohii ta dyzain. – 2017. – № 1. – Rezhym dostupu : <http://nbuv.gov.ua/UJR N/td 2017>.
17. Vyrobny tekstylno-halantereini. Metod vyznachennia liniinykh rozmiriv : DSTU 3924-99 (HOST 16218.1-93). – [Chynnyi vid 2000-10-31]. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1999. – 25 s. – (Natsionalni standarty Ukrainy).
18. Systema pokaznykiv yakosti produktsii. Vyrobny tekstylno-halantereini pobutovoho pryznachennia : DSTU 3926-98 (HOST 4.13-89). – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1998. – 55 s. – (Natsionalni standarty Ukrainy).

Рецензія/Peer review : 15.10.2020 р.

Надрукована/Printed :05.11.2020 р.

## ІННОВАЦІЙНІ ТРЕНДИ ВИРОБНИКІВ ПАНЧІШНО-ШКАРПЕТКОВИХ АВТОМАТІВ НА ШЛЯХУ ДО INDUSTRY 4.0

*Наведено новітні тренди щодо автоматизації, комп'ютеризації та електроніки для підвищення технічного та технологічного потенціалу панчішно-шкарпеткових автоматів з метою вивчення конкурентної ситуації на ринку відповідного обладнання. Виконано оцінку найбільш конкурентно спрямованих технічних рішень через їх вплив на розширення технологічних можливостей виробництва та креативності дизайну шкарпеток. Відзначено тенденції в виробництві автоматів для приєднання їх на цифровій основі до глобальної електронної мережі з подальшим входженням в Industry 4.0*

*Ключові слова:* панчішно-шкарпетковий автомат, інновації, комп'ютеризація, електронна система, автоматизація.

L.M. BEREZIN

Kyiv National University of Technologies and Design

### INNOVATIVE TRENDS OF SOCK MACHINES MANUFACTURERS ON THE WAY TO INDUSTRY 4.0

*New tendencies of automation, computerization and electronics have been presented to expand the technical and technological potential of sock machines for studying the competitive situation in the market of the corresponding equipment. The assessment of the most competitively directed technical solutions is revealed through their influence on expanding the technological capabilities of production and creativity in the design of socks. In article are introduced the tendencies of transition to high-efficiency digital technologies and electronic control systems of sock machines as a way to perfection and ideal combination of technicality, universality and productivity of the equipment. Evolutionary changes in software for sock machines allow you to implement virtually unlimited colors, patterns and weaves, including three-dimensional 3D technology Intarsia. The most modern devices for closing the toes of socks are listed, the use of which allows to realizing the transition to full automation of technological process. It is projected that in the near future the requirement for automatic closing of the toes of socks will enter the global standard for the production of socks machines, given the high cost-benefit ratio and rapid return on investment. Innovations in terms of additional devices and accessories are considered, primarily for the supply and control of yarn consumption. The trends in the production of sock machines for connecting them on a digital basis to the global electronic network with a further entry into Industry 4.0 are highlighted. This will allow sock manufacturers to move closer to e-commerce in the future in an all-in-one system (from manufacturer to consumer and vice versa), based on previous orders, forecasting demand and optimizing stocks of raw materials and products without the need for traditional production and logistics chains. The work is accompanied by a sufficient amount of reference material in relation to the object of research.*

*Keywords:* sock machine, innovation, computerization, electronic system, automation.

### Вступ

Однією з перепон для вітчизняних підприємств, що зумовлює випуск шкарпеток обмеженого асортименту, є вагома частка застарілого обладнання. Очевидно, що для швидкого реагування на вимоги ринку та стабільного постачання конкурентоспроможних кінцевих продуктів, необхідне технологічне переоснащення виробництва, яке обов'язково пов'язано із заміною обладнання. Тому саме менеджери, спеціалісти з маркетингу, художники-десинатори та технологи, оперуючи досвідом, наявною інформацією та інтуїцією, першочергово повинні орієнтуватися в перспективних трендах споживчих властивостей продукції та складати відповідне завдання на технологічне та відповідно технічне оновлення виробництва. Таким чином, огляд та аналіз технічних інновацій через призму технологічних вимог стосовно панчішно-шкарпеткових автоматів (ПША) є актуальним.

Враховуючи динаміку змін в виробництві обладнання даного сектора, вважаємо, що літературні ресурси [1, 2] та панорама досягнень на всесвітніх профільних виставках минулих років (ITMA-2015 або ITMA ASIA+CITMA-2018 [3]) є дещо застарілими, а огляди регіональних ринків за кінцевим споживачем ПША [4], в свою чергу, носять переважно бізнесову складову. Використовувалась експрес-інформація з останньої виставки досягнень в текстильній промисловості ITMA-2019 [5], напрацювання Європейського комітету виробників текстильних машин SEMATEX [6] та сайтів відомих виробників ПША. Оцінювали найбільш конкурентоспромовані технічні інновації стосовно ПША, розкриваючи їх вплив на розширення технологічних можливостей виробництва та креативності дизайну шкарпеток.

Метою роботи є оцінка трендів розвитку панчішно-шкарпеткових автоматів відомих виробників через спектр впливу інноваційних рішень щодо автоматизації, цифрової візуалізації, комп'ютеризації та електроніки на розширення технічного та технологічного потенціалу обладнання. У відповідності до мети задачі дослідження були: аналіз літературних джерел і досягнень виставкової діяльності передових виробників ПША та розуміння новітніх технологій стосовно конкурентоспроможних рішень в умовах цифрової трансформації щодо апаратних компонентів (передусім автоматизації виробничого процесу, використання цифрових технологій, оснащення електронними системами управління), програмного забезпечення для розробки виробів, дизайну і пов'язаних з ними технологій автоматизації конструювання виробів. Передбачається розгляд інновацій щодо додаткових пристроїв та аксесуарів, передусім для подачі та контролю споживання пряді.

Поза межами огляду залишилися питання удосконалення в'язальних механізмів ПША включно з голками, а також технологічні аспекти виробництва шкарпеток, що потребує окремого повідомлення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Враховуючи схожість цільових задач при експлуатації ПША різних виробників, першочергово серед сучасних розробок необхідно виділити використання високоефективних цифрових технологій на базі комп'ютера, які реалізуються оснащенням екстремними системами керування та контролю технологічними процесами в'язання як шлях до досконалості та ідеального поєднання технічності, універсальності та продуктивності обладнання. За фактом маємо високу надійність роботи ПША, майже відсутність втручання оператора, надзвичайну точність та стабільність позиціонування виконавчих механізмів, зменшення механічних складових, розширення технологічних можливостей, реалізація швидкого переходу на новий асортимент за рисунком, розміром, переплетенням завдяки сукупності програмного забезпечення та апаратних компонентів.

Виробники ПША схиляються до електроніки власного виробництва для обрання нестандартних самодостатніх рішень в апаратному та програмному забезпеченні, що дозволяє їх диверсифікацію у випадках виробничої необхідності. Насамперед, це стосується розробок електронних технологій підрозділом Dinema в Lonati Group [7], електронної системи управління 2900SL виробництва Stäubli [8] на автоматах Rumi, оновленої версії програмного забезпечення Art-Gen на лінійці автоматів Busi Giovanni, мікропроцесорних пристроїв Deimo на машинах Nova D та Lucia D тощо.

Еволюційні зрушення щодо розширення комп'ютерних можливостей на ПША представлені на міжнародній виставці спортивного одягу ISPO Munich 2020 на прикладі нещодавно запатентованих одноциліндрових електронних машин X Machine та XT Machine від компанії «Santoni». Обладнання оснащено новою автоматичною системою, яка керована мікрокомп'ютером, а також революційною системою відбору голок, що дозволяє реалізовувати безпрецедентні тривимірні переплетення з оригінальною технологією 3D Intarsia. Основна винятковість автомату XT Machine полягає в можливості в'язання верху спортивного взуття за наперед обраною формою та при ідеальному приляганні до стопи з необмеженими варіантами візерунків та кольорових комбінацій. Виготовлений на ПША суцільний верх взуття в комплекті з язичком підйому та петлями є повністю готовим для приєднання до підшови. В'язання верху для взуття можливе з одно- або двошарової тканини з аргілем, з ділянками з махровою тканиною для додаткової функції амортизації, з ажурною тканиною, яка здатна покращити повітропроникність верхньої частини та вентиляцію стопи. Забезпечується в'язання кольорових логотипів та інших зображень високої чіткості з подачею чотирьох кольорів та розміщення їх на будь-якій ділянці, а також введення підвищеної щільності на чверть п'ятки для придання жорсткості задньої частини взуття. Оскільки в'язання верху взуття виконується однією операцією, то значно зменшується кількість швів в порівнянні зі стандартним виробництвом взуття. Таким чином, верх взуття після належної обробки та складання, проходження термофіксації, фіксації з наступним цементуванням підшови та вставкою шнурків, перетворюється в повноцінний та укомплектований виріб. Взуття, яке вироблене на автоматах XT Machine, в порівнянні з традиційним, вирізняється легкістю, зручністю, можливістю створення особливих індивідуальних характеристик та вищою якістю. Найголовніша стратегічна перевага інновації Santoni полягає в можливості ефективної та швидкої розробки і виготовлення взуття, що значно скорочує загальну тривалість виробництва та виробничі відходи.

Сучасні ПША переважно оснащені програмним забезпеченням, системами для розробки виробів, дизайну та пов'язаних з ними технологій автоматизації виготовлення виробів. Прикладом може слугувати оновлена версія SD програмного забезпечення на основі відомої графічної програми Rudidraw для створення рисунків та редактора підготовки і управління програмами, яка представлена на автоматах Rumi моделі Seven-R [9]. Програма реалізується в операційній системі Windows 95/98/2000/ME/XP, має специфічні функції управління для спрощення роботи операторів (доволі інтуїтивне створення креслень, можливість одночасно працювати з декількома відкритими кресленнями, високу розрядність із зручним масштабуванням для перегляду дрібних деталей), допускає роботу зі сканером та принтером при передачі зображень в різних графічних форматах. На продукції Lonati Group, наприклад ПША Goal GK725H встановлена електроніка останнього покоління, що забезпечує контроль та виконання всіх команд машини. Створення виробів та управління процесом в'язання здійснюється програмним пакетом Digraph 3 Plus, який містить повну колекцію стилів і допомагає оператору комбінувати різними способами для отримання бажаних результатів. На ПША компанії «Uniplet A.S.» нову систему графічного дизайну скомплектовано за двома програмами Stayler 4, Stayler 5 (розробник Deimo) та SuperGraphic (розробник Sunrise), що працюють в форматах PIC та BMP. На моделі автомату Idea Terry компанії Busi Giovanni для проектування шкарпеткового виробу та виробничого моніторингу використовують програмні забезпечення S-Paint та SKMon відповідно.

Програми та параметри функціонування автоматів можуть бути змінені під час роботи, завантаження програм можливе через мережу або шляхом заздалегідь підготовлених програм з пам'яті комп'ютера. Так, наприклад, оновлена версія програмного забезпечення Art-Gen на ПША компанії «Busi Giovanni» передбачає клієнтам на основі інтуїтивно зрозумілих функцій складання індивідуальних програм в'язання шкарпеток власного дизайну з подальшою відправкою та установкою на обладнанні.

Більшість ПША комплектуються повно кольоровою панеллю управління з сенсорним екраном РК-дисплею та клавіатурою, що дозволяє оператору оперативно відслідковувати робочі параметри етапу в'язання виробу, опис місця та причин зупинок, виконувати автоматичне тестування та сенсорний контроль помилок.

Підвищення продуктивності та скорочення кількості механічних деталей на 35–40 % досягається кардинальними змінами в конструкціях приводів автоматів, першочергово з використанням двигунів крокових та постійного струму. Їх використання забезпечує зміну амплітуди обертання голкового циліндру на заданий кут, що скорочує холостий вибіг циліндру на реверсі при в'язанні п'яткових карманів та час виготовлення виробу в цілому.

Інший підхід в'язання п'ятки (наприклад, в моделі Ange 14 W чеського виробника Uniplet) базується на електронному способі відбору голок без використання пристроїв для зменшення та збільшення їх кількості, що забезпечує підвищення продуктивності на 15...25 % в порівнянні з традиційним підходом в попередніх моделях виробника. Незалежний відбір голок при зворотньо-обертальному русі циліндру без участі будь-яких механічних пристроїв, який дозволяє розмістити п'ятку в будь-якому місці шкарпетки, також реалізується на одноциліндровому автоматі HT 50 компанії «Santoni». Аналогічний підхід при в'язанні п'ятки презентовано виробниками російських автоматів Радуга-101 та Радуга-Спорт.

Застосування електронних систем на сучасних ПША також дозволяє реалізувати перехід до повної автоматизації виготовлення шкарпеток із закриттям миску на самому обладнанні без використання швейних операцій, що безумовно позитивно впливає на продуктивність та трудомісткість виробництва, а також на об'єми втрат сировини. Прошивання шкарпеток із закриттям пальців без перерви в роботі автомату здійснюють на моделі Seven-R D4S Cloe Toe італійського виробника Rumi. Пристрій D4S для закриття миска шкарпеток, який розроблений швейцарською компанією «Stäubli» [8], характеризується високою ефективністю завдяки мінімізації простою при незалежній за часом роботі пристрою і самого автомату та випуском більшого обсягу виробів при зменшенні кількості відходів. Встановлення пристрою D4S на машину для в'язання шкарпеток обіцяє швидку віддачу інвестицій. Надалі пристрій D4S планується використовувати на більшій кількості автоматів Rumi в якості додаткової опції. Серед інших виділяються автомати GK725H-GK625H-GK525H компанії «Lonati Group» з використанням автоматичної системи зашивання миску SbyS (Stitch-by-Stitch) [10], система Toe Closer, яка представлена фірмою Santoni на моделях автоматів HF Super 4.7 PBT [11] та Star-D, пристрій Lin-Toe® машини Jumbo фірми «Sangiacomo S.p.A.», ряд автоматів компанії «Uniplet».

Повністю автоматичне з'єднання з функцією «класична кеттлевка миску шкарпетки» також забезпечується на автоматах компанії Busi з автоматичним пристроєм Rimaglio, який розташований поруч з машиною і жодним чином не впливає її функціонування [12]. Окрім традиційної зашивки миску, пристроєм реалізується операція вивертання шкарпетки на лицьову сторону для завершального процесу пакування, що виключає ручні операції при неперервному виробництві.

Очевидно, що в найближчій перспективі повне автоматичне в'язання шкарпеток стане глобальним стандартом в галузевому машинобудуванні, враховуючи високе співвідношення витрат і доходів та швидку віддачу інвестицій.

Перехід до електронного відбору голок та переключення нитководіїв, окрім швидкої зміни асортименту, сприяє розширенню кольорової гами, рисунків та переплетень на шкарпетках, що практично обмежується тільки уявою дизайнерів. Для ПША, окрім самостійних розробок виробників, запропоновано широкий асортимент швидкодіючих електромагнітних блоків відбору голок (актюаторів) від спеціалізованої фірми Matrix [13]. Інноваційна технологія Matrix забезпечує на прикладі ПША моделей Ange і Dera високі динамічні характеристики (надзвичайно швидкий час перемикання), стабільну надійність, зниження енергії споживання та високий рівень точності навіть при несприятливих умовах виробництва.

Слід акцентувати, що всі автомати вирізняються гнучкістю у застосуванні додаткових пристроїв та аксесуарів. Загальновідомо про важливість контролю натягу та керування швидкістю споживання пряжі, що суттєво впливає на якість виробів та обсяги виробничих втрат через обриви. Серед інноваційних рішень даного спрямування виділимо пристрій YOYO фірми «Dinemo Electronics», що здійснює контроль подачі пряжі в трикотажних машинах (великого діаметру циліндрів, панчішно-шкарпеткових, плоских в'язальних) за допомогою запрограмованої ваги. Система управління базується на високоефективних датчиках та кроковому двигуні, які програмуються налаштуванням і підтримкою різного натягу в пряжі в залежності від конкретного процесу в'язання та видів пряжі. Пристрій YOYO повністю інтегрується в трикотажні машини будь-якого призначення, має графічні системи програмування та управління, може бути оснащений додатковими аксесуарами для розширення його можливостей. Відповідні пристрої управління дозволяють встановлювати податчики YOYO на автоматах нового покоління, переважно Lonati, та на машини інших виробників.

Необхідно також виділити від компанії BTSR International S.P.A. [14] мікросистеми активної подачі пряжі Ultrafeeder 2. Пристрій забезпечує контроль сталого натягу і задану швидкість споживання із функцією позитивного накопичення пряжі на барабані (для створення запасу та запобігання обриву в зоні в'язання), включаючи систему anti-twist із вбудованим детектором вузлів. Для в'язання еластомерів розроблений податчик Rolling Med як оновлена версія пристрою Rolling Feeder.

Компанією «BTSR» також запропонована система терміналу Smart Matrix 64H з електронними датчиками IS4F HTS, яка дозволяє здійснювати програмування та контроль споживання пряжі в реальному часі з отриманням звітності даних для моніторингу виробничого трафіку. За словами розробників, використання системи здатне усунути щонайменше 80% відходів, які зазвичай трапляються на виробництві.

Один з лідерів ринку пристроїв для подачі пряжі Memminger-IRO [15] пропонує оновлений податчик пряжі EFS 920 – універсальний пристрій з інтегрованою системою подачі як еластичних, так і



звичайних ниток, що усуває необхідність переоснащення автоматів із зміною асортименту. Аналогічне призначення має податчик нового покоління Promofeed, податчик з накопиченням нитки SFE з датчиком оптичного волокна та мікропроцесором, що відстежує запас пряжі на котушці пристрою. Податчик MSF 3 CAN з активним контролем натягу пряжі АТС гарантує відсутність впливу на натяг ниток розмірів бобін та якості пряжі. Окремою опцією, при наявності контролера GTN, є можливість централізованого налаштування натягу в різних MSF 3 CAN. Також виділяємо податчики компанії Smart Knit, L.G.L., Electronics S.p.A., модулятор напружень T.W.M. типу К з регулюванням натягу кроковим двигуном.

Із застосуванням електронного блоку управління з'являються можливості керування системою вакуумного відбору виробів, пневматичним переключенням нитководів, системою автоматичної зміни щільності виробу на основі крокового двигуна, системою anti-twist, пневматичним пристроєм Dream Vox Solis для орієнтування виробів, незалежними кроковими двигунами для управління клинами, датчиками положення типу Honeywell і Lesikar тощо. З останніх рішень необхідно виділити голчастий контролер Memminger MNC 3 для моніторингу зламаних голок, датчик лазерної зупинки Protechna Control від Memminger-IRO та лубрикатор Pulsonic 6 [15], який забезпечує оптимальне дозування та розподілення мастила як через управління комп'ютером, так і локальною мережею взаємозв'язаних контролерів (Controller Area Network). Оскільки робота ПША супроводжується значним тепловиділенням, утворенням пилу та ворсу, важливою складовою їх надійного функціонування є використання вискоелективних мастильних матеріалів. На стендах виставки ITMA-2019 вирізнялися мастила Textol виробника Zeller + Gmelin [16]. Для ПША рекомендується Textol CF Premium – мастило на основі синтетичного ефіру, Textol R – вискоелективне очищувальне мастило, яке сумісне з пластмасою та фарбою.

Таким чином, новітні серії ПША завдяки сучасним трендам виробників, які спрямовані на зручність для користувачів, представляють рух компаній до рішення зростаючих потреб Industry 4.0, що є одним з ключових напрямків розвитку підприємств без потреби в традиційних виробничих та логістичних ланцюгах та дозволяє максимізувати прибуток за рахунок нульових втрат від накопичення запасів виробів та втрачених можливостей продажу при підтримці сталого виробництва.

### Висновки

Електронний сектор у синергії з механічним має вирішальне значення для високого технологічного профілю, що характеризує все виробництво. Наведені новітні рішення щодо автоматизації, комп'ютеризації та електроніки на розширення технічного та технологічного потенціалу трикотажної техніки стосовно панчішно-шкарпеткових автоматів підтверджуються привабливістю інвестування виробниками обладнання в цих напрямках.

Завдяки останнім досягненням в області обробки даних, зв'язку та цифрової інтеграції, в галузі передбачається просування тенденцій до приєднання обладнання та виробничих процесів на цифровій базі до глобальної електронної мережі з подальшим входженням в Industry 4.0. Це дозволить в майбутньому, окрім IT - рішень стосовно технологічних процесів, наблизитися до електронної комерції в системі all in one (від виробника до споживача та навпаки), виходячи з попередніх замовлень, прогнозування попиту та оптимізації запасів сировини і продукції.

### Література

1. Кизимчук О.П. Аналіз сучасного ринку обладнання для панчішно-шкарпеткового виробництва / О.П. Кизимчук, Л.М. Мельник, А.В. Дорофєєва // Сучасні технології промислового комплексу: базові процесні інновації : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Херсон, 12–16 вересня 2018). – Херсон : ХНТУ, 2018. – С. 142–145.
2. Latest single cylinder sock & hosiery knitting machine [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.knittingindustry.com/sock-knitting-single-cylinder/>
3. ITMA Asia+CITME 2018. Innovation in Textiles [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.innovationintextiles.com/itma-asia-citme-2018/>
4. Global Hosiery Machines Industry Research Report | Market Analysis, Industry Trends and Forecast 2017–2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.researchcosmos.com/reports/reports/>
5. ITMA 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.itma.com/>
6. SEMATEX [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.thefastportal.com>
7. Dinemo Програмне забезпечення. Lonati Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://www.dinema.it/uploads/2019-9-6/brochure%20textile\\_LR.pdf](https://www.dinema.it/uploads/2019-9-6/brochure%20textile_LR.pdf)
8. Stäubli Flash ITMA 2019 ENG – Staubli [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.staubli.com/en/file/22860.show>
9. Rumi Seven R Socks Machine Use RUMIDRAW Graphical Program [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ar.pinterest.com/pin/647181408924422932/>
10. GOAL SINGLE CYLINDER GK725H - GK625H - GK525H [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.lonati.com/uploads/pdfgenerati/LON-GK-GK725H%20-%20GK625H%20-%20GK525H%20-ENG.pdf>
11. Matec. HF Super 4.7 PBT [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.santoni.com/en-macchine-sheet.asp?idm=488>

12. Busi Giovanni [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.busigiovanni.com>.
13. Matrix technology for textile industry [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.matrix.to.it/pdf/textile\\_dep.pdf](http://www.matrix.to.it/pdf/textile_dep.pdf)
14. Constant tension feeders [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.btsr.com/products/constant-tension-feeders>.
15. Advanced knitting technologic. Memminger-Iro: feeders, control systems and lubrication systems for knitting machines [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.memminger-iro.de/en/index.php> .
16. Zeller+Gmelin. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.zeller-gmelin.de/zgSite/de/Lubricants/Textilindustrie/Textilindustrie/Textol-CF-Premium/>

#### References

1. Kyzymchuk O.P. Analiz suchasnoho rynku obladnannia dlia panchishno-shkarpetkovoho vyrobnytstva / O.P. Kyzymchuk, L.M. Melnyk, A.V. Dorofeieva // Suchasni tekhnolohii promyslovoho kompleksu: bazovi protsesni innovatsii : materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Kherson, 12–16 veresnia 2018). – Kherson : KhNTU, 2018. – S. 142–145.
2. Latest single cylinder sock & hosiery knitting machine. URL: <https://www.knittingindustry.com/sock-knitting-single-cylinder/>
3. ITMA Asia+CITME 2018. Innovation in Textiles. URL: <https://www.innovationintextiles.com/itma-asia-citme-2018/>
4. Global Hosiery Machines Industry Research Report | Market Analysis, Industry Trends and Forecast 2017–2022. URL: <https://www.researchcosmos.com/reports/reports/>
5. ITMA 2019. URL: <https://www.itma.com/>
6. CEMATEX. URL: <https://www.thefastportal.com>
7. Dinemo Prohramne zabezpechennia. Lonati Group. URL: [https://www.dinema.it/uploads/2019-9-6/brochure%20textile\\_LR.pdf](https://www.dinema.it/uploads/2019-9-6/brochure%20textile_LR.pdf)
8. Stäubli Flash ITMA 2019 ENG – Staubli. URL: <https://www.staubli.com/en/file/22860.show>
9. Rumi Seven R Socks Machine Use RUMIDRAW Graphical Program. URL: <https://ar.pinterest.com/pin/647181408924422932/>
10. GOAL SINGLE CYLINDER GK725H - GK625H - GK525H. URL: <https://www.lonati.com/uploads/pdfgenerati/LON-GK-GK725H%20-%20GK625H%20-%20GK525H%20-ENG.pdf>.
11. Matec. HF Super 4.7 PBT. URL: <http://www.santoni.com/en-macchine-sheet.asp?idm=488>
12. Vusi Giovanni. URL: <http://www.busigiovanni.com>.
13. Matrix technology for textile industry. URL: [http://www.matrix.to.it/pdf/textile\\_dep.pdf](http://www.matrix.to.it/pdf/textile_dep.pdf)
14. Constant tension feeders. URL: <http://www.btsr.com/products/constant-tension-feeders>.
15. Advanced knitting technologic. Memminger-Iro: feeders, control systems and lubrication systems for knitting machines. URL: <https://www.memminger-iro.de/en/index.php> .
16. Zeller+Gmelin. URL: <https://www.zeller-gmelin.de/zgSite/de/Lubricants/Textilindustrie/Textilindustrie/Textol-CF-Premium/>

Рецензія/Peer review : 13.09.2020 р.

Надрукована/Printed :02.11.2020 р.

Т.А. ДЗИКОВИЧ, А.О. ШЕПЕЛЯ  
Київський національний університет технологій та дизайну

## ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ ДИТЯЧОГО ТРИКОТАЖНОГО ОДЯГУ НА ОСНОВІ АНІМАЦІЙНОГО СЕРІАЛУ

*Мета роботи – розробка асортименту дитячого трикотажного одягу, для створення дизайну якого використано казкових героїв сучасного анімаційного мультсеріалу «My Little Pony». Для реалізації мети проведено дослідження та аналіз модних тенденцій і напрямків трикотажного одягу для дітей, здійснено дизайн-проекткування дитячої колекції, обрано види сировини й переплетення для виготовлення на в'язальному обладнанні. Досліджено вплив взаємозв'язку рольових ігор та дитячого одягу на розвиток свідомості дитини. Здійснено дизайн-проекткування дитячих трикотажних виробів шляхом трансформації форм, структури та колориту образів головних героїв анімаційного серіалу. Визначено зміни лінійних розмірів виготовлених зразків після прання, а також їх релаксаційні характеристики. Виготовлено промисловий зразок стильного дитячого кардигану для дітей ясельної та дошкільної вікових груп.*

*Ключові слова:* дитячі трикотажні вироби, кардиган, жакардове переплетення, бамбукова і бавовняна пряжа, казкова героїка.

T.A. DZYKOVYCH, A. A.SHEPELYA  
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

## DESIGN OF CHILDREN KNITTED CLOTHING ON THE BASIS OF ANIMATION SERIES

*The work is devoted to the design-design of a creative collection of models of children's knitted garments based on the elements of the fairy-tale hero of the animated series "My Little Pony". In order to achieve this goal, research and analysis of the Ukrainian knitwear market for children and fashion trends in 2019 has been carried out. The relationship between the influence of role plays and children's clothes on the development of the child's consciousness is investigated. On the basis of the analysis of literary sources, natural raw materials and weave for the manufacture of knitted items in the material have been selected. Changes in the linear sizes of manufactured knitwear samples after washing, as well as their relaxation characteristics were determined. The most form-resistant sample in combination of cotton-bamboo yarn is offered for the production of the collection.. Children's cardigan has been developed and manufactured as an industrial design with improved consumer properties for the creation of a competitive range of knitted products of domestic production.*

*Key words:* children's jerseys, knitted dresses, jacquard weave, bamboo and cotton yarn, fabulous heroics.

### Вступ

На сьогодні сучасна мода для дітей – це потужна окрема fashion-індустрія у порівнянні з одягом для дорослих. Дитяча індустрія моди розвивається досить стрімко та з кожним роком набирає обертів. Величезним попитом користуються нові колекції провідних будинків моди та дизайнерів модного одягу для дітей. Так, в Україні з 2013 року стартували модні покази дитячого одягу. Масштаби та популярність таких заходів росте з кожним роком. З часом народилася ідея створення міжнародного тижня саме дитячої моди, де можна ознайомитися з трендами сезону, новими напрямками та акцентами сучасної моди для дітей. З 2018 року започатковано тиждень моди для дітей в Україні – Junior FashionWeek [1], створений з метою представити широкий спектр товарів для дітей від 0 до 16 років. У рамках заходу проходять fashion-покази одягу українських та міжнародних брендів, презентації іграшок, декору та інших аксесуарів, необхідних для комфортного та щасливого життя української дитини.

### Постановка завдання

Дослідження та аналіз сучасних тенденцій дитячої моди на ринку України показали, що мода копіює напрямлення та стилі дорослої, але має свої неповторні особливості. У сучасному дитячому одязі актуальний стиль мілітарі, кежуал, гламур, класичний, анімалістичний та спортивний. Модним став тренд “Family Look”, який передбачає практично ідентичні комплекти одягу для мами і доньки, для тата і сина або для всіх членів родини [2]. Сучасними орнаментальними композиціями оформлення дитячих виробів є клітинка, горох, смужка, квіткові мотиви, різноманітні написи, а також об'ємні зображення. У якості принтів та візерунків модним стало оздоблення різноманітними надписами, а також зображеннями тварин, комах, риб, анімаційних героїв та героїв казок не лише на верхніх трикотажних виробках, а й на шкарпетках. Особливо популярним серед виробників є нанесення на одяг зображень улюблених анімаційних героїв та героїв казок. Таке оздоблення виробів створює оригінальний вигляд та безперечно привертає увагу дітей. Для більшої схожості до зображеного героя додають на виробках ще й декоративні елементи. У якості оздоблення використовують металізовані стрічки, шкіру, мережива, гудзики, заклепки, вишивку, стрази, намистини і бісер. Також модним є використання яскравих деталей одягу контрастних кольорів: кишені, планки, різні вставки. Для виготовлення дитячого одягу використовують текстильні матеріали повної палітри кольорів: від світлих до насичених яскравих тонів – синій, червоний, жовтий, помаранчевий, зелений, чорний, білий та всі пастельні відтінки.

Серед різноманіття текстильних матеріалів дизайнери віддають перевагу трикотажу завдяки його комфортності та зручності при експлуатації. Асортимент трикотажного одягу для дітей різноманітний. Це

футболки, сукні, костюми, джемperi, жилетки, сарафани, піжами, шорти, штани і т.д.. Для виготовлення дитячих трикотажних виробів переважно використовують натуральні види сировини – льон, вовну та бавовну [3].

Під час проектування сучасного одягу дизайнери надають перевагу не лише комфортності та зручності, а й естетичному та стильному зовнішньому вигляду дитячого вбрання. Батьки ж при виборі одягу для своїх дітей, перш за все, піклуються про його екологічність, безпеку та комфортність. В свою чергу, діти шкільного віку обирають стильний та модний одяг, діти дошкільної вікової групи звертають увагу на оригінальний та яскравий одяг у відповідності до власних вподобань. Найчастіше віддають перевагу і з радістю вдягають вироби, які оздоблені картинками улюблених героїв мультфільму [4]. Такий одяг допомагає перенести уяву дитини у казковий світ пригод та перевтілитися в казкового героя для реалістичної рольової гри. Рольові ігри є одним з найефективніших способів розвитку фантазії дитини, його можливості зрозуміти навколишній світ, людей у ньому, «пограти» у доросле життя, виразити себе і свої переживання.

Таким чином, процес створення сучасного трикотажного одягу для дітей вимагає ретельного вивчення та аналізу модних тенденцій та дитячих вподобань, забезпечення якості текстильних виробів, дослідження споживчих властивостей трикотажних полотен. Тому, розробка та проектування сучасного асортименту трикотажних виробів для дітей, які здатні задовольнити усі вимоги та вподобання споживачів, є актуальною темою.

### Результати та їх обговорення

Одяг костюмованого формату для перевтілення дитини в казкового героя є гарним допоміжним атрибутом для рольової гри. Відомо, що один з найважливіших факторів розвитку дитини – це розвиток уяви дитини, а рольові ігри сприяють цьому якнайкраще. Рольові ігри як метод виховання мають багато переваг, таких як гра, а значить це завжди приємно і природно; виховний момент відбувається непомітно для дітей; дозволяє вивчати будь-яку інформацію, сформувати правильне розуміння складного для дитячого розуміння явища [5]. Дитячі рольові ігри можна класифікувати за типом, спрямованістю, місцем проведення, кількістю та активністю учасників щодо використання допоміжних засобів і декорацій. Найбільш часто застосовується соціально-рольова гра – це перші повторення яких-небудь соціальних відносин в грі та рольова драматургія – постановочні подання, що можуть бути не пов'язані з реальністю. Сюжетно-рольова гра дозволяє знову пережити побачене в магазині, пограти в двірника, продавця, космонавта та ін. У таких іграх важливо не стримувати фантазію дітей, не змушувати їх показувати бажане, а саме гратися. Діти з особливим захопленням сприймають театр тіней, ляльковий театр на столі, великий ляльковий театр і постановку за участю дітей. Такий тип виховання дозволяє налагодити контакт з найбільш сором'язливими, закритими і нетовариськими дітками [6]. Рольові ігри виконують такі функції: отримання бажаного, найчастіше це предмет, яким дорослі не дозволяють грати або який малюк не може отримати. Його роль виконує будь-який інший предмет: коробочка – машинка, праска чи піч, паличка – кінь, молоток, ракета та ін.; усвідомлення основоположних характеристик предметів і образів: машинка гуде, їздить, возить, кінь возить, ірже, їсть сіно і т. п.; візуалізація різних соціальних ролей: дочки-матері, хворий і лікар, водій і пасажири, бабуся і онучка; примірка різних спеціальностей; примірка ролі казкового або історичного героя – принца або принцеси, феї або лиходія, партизана або ворожого шпигуна; захист від психологічних проблем [7].

Дитяча мода повинна пристосовуватися до потреб дітей. Діти завжди перебувають у русі, неймовірно допитливі і хочуть досліджувати світ, тому одяг в жодному разі не повинен сковувати активність рухів. Аналіз вимог до виготовлення одягу для дітей показав, що в першу чергу, він повинен бути зручним, приємним на дотик та якісно виготовленим. Такий одяг повинен бути достатньо зносостійким, формостійким, вільної силуетної форми, легким і компактним. Екологічність матеріалу – головний критерій якості та безпечності одягу для дітей, а зручна конструкція одягу – запорука попиту на нього.

Таким чином, усвідомлюючи величезну роль рольових ігор у розвитку дітей та бажання дітей одягатися в одяг костюмованого формату, розв'язувалась задача створити оригінальний, зручний у повсякденному використанні одяг, але в якому діти могли би перенестися у свій світ мрій. На основі дослідження казкової героїки анімаційного серіалу «My Little Pony» здійснено дизайн-проекування колекції одягу костюмованого формату [8]. Джерелом натхнення для створення моделей колекції стали головні герої з дитячого мультсеріалу (рис. 1).



Рис. 1. Головні герої анімаційного серіалу «My Little Pony»: а – Епплджек, б – Рейнбоу Деш, в – Твайлайт Спаркл, г – Пинки Пай, д – Флаттершай

В ході розробки моделей колекції проведено аналіз форм та колористичної гами образів головних героїв анімаційного серіалу. Розроблені моделі мають назву, що відповідають назвам головних казкових героїв (рис. 2).



**Рис. 2. Колекція трикотажних дитячих виробів за мотивами мультиплікаційного серіалу «My Little Pony»:**  
а – кардиган «Епплджек», б – кардиган «Твайлайт Спаркл», в – худі «Рейнбоу Деш»,  
г – сарафан «Пінкі Пай», д – сарафан «Флаттершай»

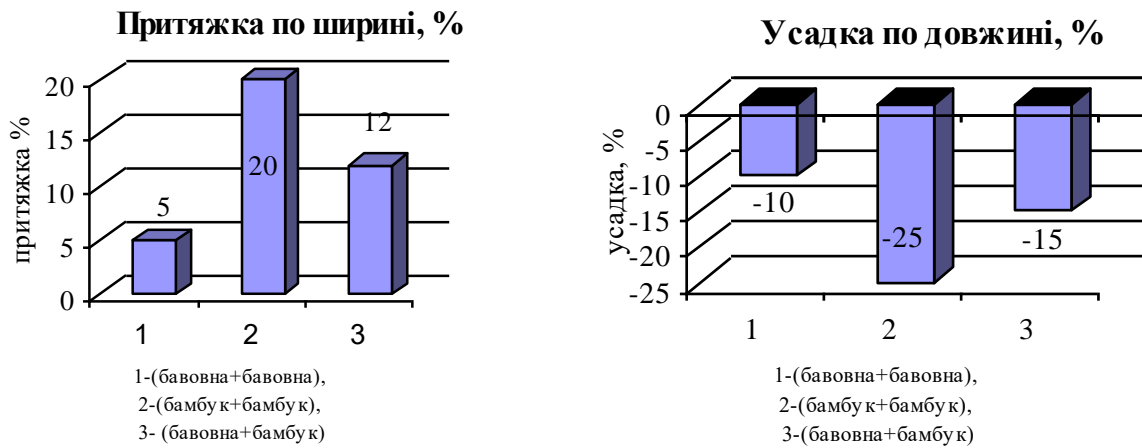
Кольорова гама колекції складається з жовтого, помаранчевого, рожевого, блакитного та фіолетового кольорів. За геометричним видом дитячі вироби колекції, враховуючи вікову категорію споживачів, прямокутної та трапецієподібної форми, силует одягу – вільний та напівприлеглий. Основні декоративні лінії утворені елементами оздоблень у вигляді кишень та рюш. Моделі вздовж лінії горловини включають деталь у вигляді капюшону, який для більшої схожості з головними героями оформлюється допоміжними декоративними елементами. Колекцію формують два кардигани вільного силуету, два сарафани трапецієподібної форми та худі. Модель кардигану «Епплджек» виконано у помаранчевому кольорі з двох частин пілочок і спинки, рукавів з високими жовтими смугами по низу та капюшоном жовтого кольору. Виріб представлено зі спущеними плечами, асиметричною застібкою та однією накладною кишенею. Кардиган «Твайлайт Спаркл» виконано у бузковому кольорі з капюшоном синього кольору. На капюшоні вертикально по центру розташовано бузкову і яскраво-рожеву смуги. Виріб вільного силуету з вшивними рукавами. Модель худі «Рейнбоу Деш» виконано у блакитному кольорі з капюшоном та манжетом по низу виробу. Вертикальні смуги, що розташовані по центру на капюшоні, на манжетах по низу худі, забарвлені у колір веселки. Виріб представлено з вшивним рукавом та накладною кишенею посередині пілочки. Сарафан «Пінкі Пай» виконано у рожевому кольорі з капюшоном та однією асиметрично розташованою кишенею. Лінія горловини оформлена короткою застібкою – планкою на гудзиках, низ виконано у вигляді трьох ярусів оборок. Модель сарафан під назвою «Флаттершай» виконано у жовтому кольорі з рожевим капюшоном. Низ виробу та накладні кишені, що розташовані у верхній частині пілочок, оброблено рожевим манжетом. В бокових швах, розташовані кишені, що оброблені рожевими листочками. Сарафан має застібку – блискавку.

Враховуючи головний критерій щодо виготовлення дитячого одягу – екологічна безпечність текстильних матеріалів [9], з яких його виготовлено, запропоновано обрати у якості сировини бавовняну та бамбукову пряжі [10]. Для виготовлення колекції запропоновано основне переплетення – подвійний неповний жакард, а у якості допоміжного – трубчасту кулірну гладь. Спосіб виготовлення деталей одягу напіврегулярний.

Дитячий одяг швидко забруднюється та під час експлуатації деформується і втрачає свою привабливість та функціональність. Тому з метою оцінки споживних властивостей розроблених трикотажних полотен, що рекомендуються для виготовлення виробів, досліджено зміну лінійних розмірів після вологих обробок та релаксаційні характеристики. Дослідження впливу вологих обробок на зміну лінійних розмірів після прання вздовж лінії петельних рядів та стовпчиків розроблених зразків трикотажних полотен проведено у відповідності до стандартизованої методики [11]. Зразки трикотажних полотен вироблено на плосков'язальній машині на базі трикотажу подвійного неповного переплетення, використовуючи комбінування пряжі: бавовна–бавовна, бамбук–бамбук, бавовна–бамбук. Результати експерименту представлено на діаграмах зміни лінійних розмірів дослідних зразків по ширині та довжині (рис. 3).

Аналіз отриманих результатів показав, що по ширині спостерігається притяжка в межах від 5 % до 20 %, а по довжині усадка – від 10 % до 25 %. Найменші відхилення у зразків з бавовняної пряжі, а найбільші – у зразків з бамбукової.

З використанням електронного мікроскопу досліджено зміну структурних характеристик трикотажу неповного подвійного жакарду з різною комбінацією видів сировини до та після вологих обробок. У таблиці 2 представлено макрофотографії дослідних зразків. Аналіз одержаних результатів дозволив виявити вплив комбінації праж різного сировинного складу на формування петель та відповідно параметри петельної структури трикотажу після вологих обробок.



**Рис. 2. Діаграми зміни лінійних розмірів трикотажу неповного подвійного жакардового переплетення з різною комбінацією пряду: а – по довжині; б – по ширині**

Таблиця 2

**Макрофотографії дослідних зразків трикотажу неповного подвійного жакарду з різним комбінуванням видів сировини до та після мокрих оброблень**

	бавовна-бавовна	бамбук-бамбук	бавовна-бамбук
до прання			
після прання			

Для аналізу формостійкості розроблених зразків трикотажних полотень переплетення неповний подвійний жакард з різною комбінацією видів сировини досліджено їхні релаксаційні характеристики [12]. Результати досліджень релаксаційних характеристик зразків трикотажу неповного подвійного жакардового переплетення з різною комбінацією видів сировини представлено в табл. 3.

Таблиця 3

**Релаксаційні характеристики зразків трикотажу неповного подвійного жакардового переплетення з різною комбінацією видів сировини**

Комбінація виду сировини	Складові частки релаксації деформації, %					
	по довжині			по ширині		
	швидко-оборотна, ΔE1	повільно-оборотна, ΔE2	залишкова, ΔE3	швидко-оборотна, ΔE1	повільно-оборотна, ΔE2	залишкова, ΔE3
Бавовна-бавовна	0,62	0,11	0,25	0,74	0,08	0,17
Бамбук-бамбук	0,66	0,12	0,20	0,73	0,13	0,13
Бавовна-бамбук	0,65	0,1	0,25	0,74	0,08	0,16

За результатами проведених досліджень для виготовлення колекції обрано трикотаж неповного подвійного жакардового переплетення з оптимальною комбінацією сировини бавовна-бамбук.



Рис. 3 Фото промислового зразка модель «Твайлайт Спаркл»

У якості промислового зразка розроблено та виготовлено модель дитячого кардигану «Твайлайт Спаркл» з покращеними споживними властивостями. Кардиган трикотажний дитячий, призначений для дітей ясельної та дошкільної вікових груп. Джемпер виконаний з пряжі бамбукової лінійної густини  $29 \times 2 \times 2$  текс та бавовняної  $25 \times 2 \times 2$  текс на плоскофанговій машині «Brother» 6 класу подвійним неповним жакардовим переплетенням. Зовнішній вигляд джемперу дитячого характеризується наступними суттєвими ознаками: рішення кардигану прямого силуету з втачаним довгим рукавом прямої форми, рішення застіжки пілочки на два гудзики, використання декору на капюшоні по центру у вигляді вертикальних кольорових смуг. Манжети, бійка горловини виготовлені переплетенням трубчаста кулірна гладь. Колористичне рішення виробу побудовано на поєднанні контрастних та світлих тонів.

### Висновки

У відповідності до поставленої мети розроблено та здійснено проектування трикотажних дитячих виробів на основі анімаційного серіалу. Досліджено вплив рольових ігор та особливостей художнього проектування дитячого одягу на розвиток свідомості дитини. Встановлено характер впливу комбінування пряжі різного сировинного складу в структурі переплетення на зміну лінійних розмірів виготовлених зразків трикотажних полотен після прання та їх релаксаційні характеристики. Шляхом макрозйомки структури трикотажу виявлено вплив комбінування пряжі різного сировинного складу в структурі переплетення на зміну петельної структури трикотажних полотен. На підставі одержаних результатів досліджень властивостей розроблених зразків трикотажних полотен запропоновано для виготовлення колекції найбільш оптимальний зразок з комбінацією сировини бавовна–бамбук. Для створення конкурентоспроможного асортименту трикотажних виробів вітчизняного виробництва у якості промислового зразка розроблено та виготовлено дитячий кардиган з покращеними споживними властивостями. Результати дозволяють налагодити промислове виробництво трикотажних виробів для дітей ясельного та дошкільного віку костюмованого формату.

### Література

1. Junior Fashion Week [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.juniorfashionweek.com.ua](http://www.juniorfashionweek.com.ua)
2. Детская мода 2019: Главные тенденции в одежде для девочек и мальчиков [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://pix-feed.com/detskaja-moda-2019/>
3. Дизайн одягу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://duzain345.blogspot.com/>
4. Шепеля А.О. Дизайн-проекування асортименту дитячих трикотажних виробів / А.О. Шепеля ; наук. кер. Т.А. Дзикович // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення (26-27 квітня 2018 р., Київ). – Київ : КНУТД, 2018. – С. 276–277.
5. Сиротюк А.С. Роль игровой деятельности в психическом развитии детей дошкольного и младшего школьного возраста / А.С. Сиротюк // Современное дошкольное образование. Теория и практика. – 2014. – № 3. – С. 32–37.
6. Ігрові технології як інструмент профілактичної роботи спеціалістів психологічної служби закладів освіти : [навчально-методичний посібник] / автор-упорядник Т.В. Войцях. – Черкаси : Черкаський ОПОПП, 2014. – 92 с.
7. Пасічник В. Проблема класифікації ігор у фізичному вихованні дітей дошкільного віку / Пасічник Вікторія, Пітин Марьян // Фізична культура, спорт та здоров'я нації : зб. наук. праць ; гол. ред. В.М. Костюкевич. – 2016. – С. 319–326.
8. My Little Pony [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.toybytoy.com/figures/MyLittlePonyalistofcharacters>

9. Лисак Н.В. Розробка технології та сучасного дизайну дитячих верхніх трикотажних виробів / Н.В. Лисак, Л.Є. Галавська // Технології та дизайн. – 2017. – № 3 (24).
10. Бамбукове волокно [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://domovyk.com/news/13/full/3764/>
11. ДСТУ ГОСТ 30157.0:2003. Полотна текстильні. Методи визначання зміни розмірів після мокрих оброблень або хімічного чищення. Загальні положення.
12. ГОСТ 8847-85. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных.

#### References

1. Junior Fashion Week [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : [www.juniorfashionweek.com.ua](http://www.juniorfashionweek.com.ua)
2. Detskaya moda 2019: Glavnye tendentsii v odezhde dlya devochek i malchikov [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://pix-feed.com/detskaja-moda-2019/>
3. Dyzaïn odiahu [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://duzain345.blogspot.com/>
4. Shepelia A.O. Dyzaïn-proektuvannia asortymentu dytiachykh trykotazhnykh vyrobiv / A.O. Shepelia ; nauk. ker. T.A. Dzykovych // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dopovidei XVII Vseukrainskoi naukovoï konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv. T. 1: Suchasni materialy i tekhnologii vyrobnytstva vyrobiv shyrokoï vzhytku ta spetsialnoï pryznachennia (26-27 kvitnia 2018 r., Kyiv). – Kyiv : KNUTD, 2018. – S. 276–277.
5. Sirotyuk A.S. Rol igrovoj deyatelnosti v psicheskom razvitii detej doshkolnoï i mladshego shkoloïnoï vozrasta / A.S. Sirotyuk // Sovremennoe doshkolnoe obrazovanie. Teoriya i praktika. – 2014. – № 3. – S. 32–37.
6. Ihrovi tekhnologii yak instrument profilaktychnoi roboty spetsialistiv psykhologichnoi sluzhby zakladiv osvity : [navchalno-metodychni posibnyk] / avtor-uporiadnyk T.V. Voitsiakh. – Cherkasy : Cherkaskyi OIPOP, 2014. – 92 s.
7. Pasichnyk V. Problema klasyfikatsii ihor u fizychnomu vykhovanni ditei doshkilnoï viku / Pasichnyk Viktoriia, Pityn Marian // Fizychna kultura, sport ta zdorovia natsii : zb. nauk. prats ; hol. red. V.M. Kostiukevych. – 2016. – S. 319–326.
8. My Little Pony [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.toybytoy.com/figures/MyLittlePonyalistofcharacters>
9. Lysak N.V. Rozrobka tekhnologii ta suchasnoï dyzaïnu dytiachykh verkhnykh trykotazhnykh vyrobiv / N.V. Lysak, L.Ie. Halavska // Tekhnologii ta dyzaïn. – 2017. – № 3 (24).
10. Bambukove volokno [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://domovyk.com/news/13/full/3764/>
11. DSTU HOST 30157.0:2003. Polotna tekstylni. Metody vyznachennia zminy rozmiriv pislia mokrykh obroblien abo khimichnoï chyshchennia. Zahalni polozhennia.
12. GOST 8847-85. Metody opredeleniya razryvnykh harakteristik i rastyazhimosti pri nagruzkah, menshe razryvnykh.

Рецензія/Peer review : 15.10.2020 р.

Надрукована/Printed : 04.11.2020 р.



О.В. ПАХОЛЮК

Луцький національний технічний університет

Г.О. ПУШКАР, І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК

Львівський національний торговельно-економічний університет

## ТЕКСТИЛЬНА НАНОПРОДУКЦІЯ УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЕРТИЗИ

*Відомо, що доцільність і ефективність впровадження нових нанотехнологій в окремі галузі господарства України, як правило, визначається успіхом і популярністю, рівнем якості та безпечності на ринках цієї продукції, яка випускається на основі цих нанотехнологій. Це свідчить про те, що питання розвитку нанонауки, нанотехнологій і ринку нанопродукції необхідно розглядати комплексно. Ув'язка цих питань повинна забезпечуватися і в державних програмах розвитку вітчизняної нанонауки, нанотехнологій і ринку нанопродукції. Керуючись даним підходом, в даній роботі ми спочатку дамо аналіз деяких літературних джерел, останніх років, в яких розглядаються основні напрямки розвитку нанонауки, нанотехнологій і ринку нанопродукції в Україні і світі за останні роки [1–9], а потім на цій основі сформулюємо і обґрунтуємо деякі теоретичні положення (концепцію) подальшого розвитку нанонауки, нанотехнологій і ринку нанопродукції на прикладі вітчизняного ринку нанотекстилю і наноодягу [10–17].*

*Ключові слова:* нанонаука, нанотехнологія, ринок, текстильна нанопродукція, нанотекстиль, наноодяг.

E.V. PAKHOLIUK

Luts'k National Technical University

G.O. PUSHKAR, I.S. GALYK, B.D. SEMAK

Lviv Trade and Economical University

### TEXTILE NANOPRODUCTS OF UKRAINE: CURRENT STATE AND FEATURES OF EXAMINATION

*It is known that the feasibility and effectiveness of the introduction of new nanotechnologies in certain sectors of the economy of Ukraine, as a rule, is determined by the success and popularity, level of quality and safety in the markets of these products based on these nanotechnologies. This indicates that the development of nanoscience, nanotechnology and the market for nanoproducts must be considered comprehensively. The connection of these issues should be ensured in the state programs for the development of domestic nanoscience, nanotechnology and the nanoproduct market. Guided by this approach, in this paper we first analyze some literature sources, recent years, which consider the main directions of nanoscience, nanotechnology and nanoproduct market in Ukraine and the world in recent years [1-9], and then on this basis we formulate and substantiate some theoretical provisions (concept) of further development of nanoscience, nanotechnology and the market of nanoproducts on the example of the domestic market of nanotextiles and nanoclothes [10-17].*

*Keywords:* nanoscience, nanotechnology, market, textile nanoproducts, nanotextiles, nanoclothes.

### Постановка проблеми у загальному вигляді

Відомо, що в Україні, як і в багатьох економічно розвинутих країнах світу, проводяться фундаментальні дослідження в галузях нанонауки і нанотехнологій. Особливо це стосується інститутів НАН України, а також деяких галузевих інститутів та пов'язаних університетів Міністерства освіти та науки України. Узагальнення інформації, наведеної в цих роботах, дозволяє зробити такі основні висновки:

1. За рівнем розвитку нанонауки і нанотехнологій та обсягом випуску нанопродукції Україна ще дещо поступається провідним країнам світу (США, Японії, Китаю та іншим).

2. Подальшого поглиблення вимагає нанонаука, нанотехнології з розвитку вітчизняного ринку текстильної нанопродукції.

Зупинимося на більш детальному аналізі та товарознавчому трактуванні наведених в роботі літературних джерел.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Авторами роботи [1] вивчені й узагальнені дослідження з розвитку нанонауки і нанотехнологій в Україні та деяких розвинутих зарубіжних країнах (Німеччині, Франції, Швейцарії, Бельгії, Данії, Норвегії та інших). При цьому виявлені країни-лідери ЄС за кількістю отриманих патентів в галузі розвитку в цих країнах нанонауки і нанотехнологій.

Авторами наведено перелік конкретних видів вітчизняної нанопродукції, отриманої окремими інститутами НАН України за 2012 рік. Це, наприклад:

– Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка НАН України;

– Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р. Є. Кавецького НАН України;

– Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України;

– Фізико-технічний інститут низьких температур НАН України та інші.

На думку автора [1], подальший розвиток нанонауки і нанотехнологій в Україні вимагає:

1. Розроблення Національної стратегії розвитку нанонауки і нанотехнологій України та нової Державної науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2015–2025 роки.

2. Для розвитку і застосування нанотехнологій потрібні розлогі наукові знання, а тому держава повинна постійно зміцнювати національну базу наукових знань у сфері нанотехнологій, підвищуючи їх значення для бізнесу та суспільства.

В роботі [2] надано аналіз розвитку нанотехнологій і отримані на їх основі нанопродукції в Україні та світі за останні роки. Дано 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. Виявлені проблемні питання у розвитку вітчизняного ринку нанопродукції та визначені шляхи їх вирішення.

Авторами роботи [3] виявлені та обґрунтовані основні напрямки розвитку ринку нанотехнологій в Україні та світі, а також отриманої на їх основі нанопродукції різного цільового призначення. При цьому основна увага приділена пріоритетним нанотехнологіям і отриманої на їх основі нанопродукції. Саме застосування цих нанотехнологій в Україні повинно гарантуватися відповідною державною підтримкою.

В роботі [4] авторами на основі критичного аналізу літературних джерел наведено перелік застосування найбільш перспективних нанотехнологій в медицині. Зроблено критичний аналіз потенційних ризиків від застосування окремих наноматеріалів і їх нанотехнологій. Названо основні ризики від застосування окремих наноматеріалів і їх нанотехнологій. Дана характеристика властивостей тих видів наноматеріалів, які є найбільш перспективними в окремих галузях медицини.

Авторами роботи [5] описана історія розвитку нанотехнологій в Україні. Розкрита роль науково-технічних установ України в розвитку нанотехнологій. Сформульовані та обґрунтовані найбільш перспективні напрямки розвитку нанонауки і нанотехнологій в Україні. Представлено перелік вітчизняних університетів, в яких досягнуті найбільш вагомі результати розвитку нанотехнологій. Відзначено, що лідерами у розвитку нанотехнологій і ринку нанопродукції у світі сьогодні є США, Японія та Китай.

В роботі [6] автори провели аналітичне дослідження проблем і перспектив конвергенції нано-, біоінформаційних, когнітивних технологій (NBIC-технологій) як ключового фактору становлення шостого технологічного укладу в країнах світу та основи побудови економіки випереджувального розвитку. У монографії розглянуті можливі напрямки комерціалізації нанотехнологій в економіці, а також наведено аналіз досвіду державного регулювання розвитку наоіндустрії у провідних країнах світу. Особливу увагу автори приділили оцінці стану розвитку нанотехнологій в Україні, необхідності 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. Автори відзначають, що у розвинутих країнах світу ядро економіки складають галузі п'ятого технологічного укладу – мікроелектроніка, гена інженерія, космічні технології, засоби автоматизації і зв'язку, біотехнології. У рамках п'ятого укладу починають складатися контури шостого укладу, в якому ключовим фактором ядра стане конвергенція NBIC-технологій. Ядро шостого технологічного укладу сформують наноматеріали, наноелектроніка, нанометрологія, нанофотоніка, сканувальна нанотехніка, наносистемна техніка, гена інженерія, кліткові біотехнології, інформаційно-комунікаційні технології, штучний інтелект. Носійними галузями будуть авіабудування і ракетно-технічний комплекс, електроніка, електротехніка і приладобудування, інформаційно-комунікаційна галузь, освіта, атомна промисловість, ядерна і термоядерна енергетика, суднобудування, автомобілебудування і верстатобудування, хімічно-металургійний комплекс, продовольчий комплекс.

Автор роботи [7] відзначає, що прискорений розвиток науково-технічного прогресу, швидка поява нових технологій в усіх галузях науки і техніки та розширення сфер їх застосування свідчить про необхідність поглибленого наукового дослідження перспектив розвитку і застосування нанотехнологій.

1. Обґрунтовано науково-методичне забезпечення формування механізму державної підтримки розвитку виробництва з застосуванням нанотехнологій, відмінністю якого є базування на таких складових, як принципи, напрямки, інструменти, що в комплексі дозволяють досягти мети – забезпечення умов для інтенсифікації інноваційної, інвестиційної, науково-дослідницької діяльності, спрямованої на стимулювання виробництва із застосуванням нанотехнологій в економіці України.

2. Доведено, що механізм державної підтримки розвитку нанотехнологій має реалізуватися з урахуванням принципів наукової обґрунтованості визначення напрямів розвитку нанотехнологій; синергетичного впливу заходів державної підтримки та стимулювання розвитку нанотехнологій за пріоритетними напрямками; системності й комплексності стимулювання розвитку нанотехнологій у реальному секторі економіки та нематеріальній сфері; поєднання підтримуючої та стимулюючої функції державної підтримки розвитку нанотехнологій; її стратегічної ефективності, варіативності та пріоритетності. Запропонована матриця визначення напрямів державної підтримки нанотехнологій в промисловості України.

У роботі [9] досліджено організаційно-економічні передумови здійснення розробок у сфері нанотехнологій. Проаналізовано результати наукової діяльності установ-продуцентів нанотехнологій Національної академії наук України як на національному, так і на міжнародному рівнях, а також їх педагогічну практику. Виокремлено найбільш перспективні напрямки наукових досліджень і можливі «точки зростання» нанонауки і нанотехнологій України. Виявлено характерні риси, притаманні вітчизняній науковій сфері нанотехнологічних досліджень і розробок. Встановлено, що розвиток сегмента нанотехнологічних досліджень і розробок вітчизняної науки значною мірою залежить від міжнародного науково-технологічного співробітництва. Обґрунтовано, що ключовим важелем впливу має бути державна підтримка цього наукового напрямку.

У роботі [9] розкриваються характерні риси глобальних ринків високих технологій. Дослідження глобальних ринків високих технологій передбачає виділення країн з найбільш оптимальними показниками розробки та впровадження нанотехнологій. Авторами наведено аналіз позицій різних країн щодо розробки та використання нанотехнологій підприємницькими структурами та науковими установами. Відзначається, що найвищі показники патентування нанотехнологій належить США, Японії, Південній Кореї (відповідно 4365, 902, 832 у 2016 р.). З ринком нанотехнологій пов'язаний і сегмент публікацій, присвячених таким технологіям. Лідерами з кількості публікацій у 2016 році є Китай, США, Індія, Південна Корея (відповідно 44493, 21750, 9867, 8296). Крім того досліджено вплив нанотехнологій на зростання ВВП цих країн. Автори вважають, що ринок високий, та зокрема нанотехнологій, розвивається достатньо інтенсивно.

Авторами роботи [10] описані основи формування асортименту і властивостей текстильної нанопродукції (волокон, ниток, матеріалів і виробів з них). Розглянуто особливості виробництва різного за призначенням текстилю (одягового, медичного та спеціального призначення). Описано формування асортименту та властивостей «розумного» текстилю та одягу спеціального призначення. Вивчені та обґрунтовані питання розвитку економіки нанотехнологій для нанопродукції різного цільового призначення. Розглянуто окремі способи виробництва нанопродукції різного цільового призначення, методи оцінки їх якості та безпечності. Сформульовані напрямки розвитку текстильної нанопродукції в XXI ст. Описано основні ризики від використання нанопродукції та нанотехнологій. Розглянуто проблеми формування ринку текстильної нанопродукції в Російській федерації та світі.

Авторами роботи [11] обґрунтовано доцільність широкого використання нанотехнологій у легкій промисловості України для формування асортименту, властивостей, якості та безпечності екотекстилю одягового, медичного та спеціального призначення. Вивчено та узагальнено зарубіжний досвід використання нанотекстилю у різних галузях (текстильній і швейній промисловості, медицині та інших галузях). Обґрунтована доцільність використання нанотехнологій для колористичного оформлення та заключного оброблення текстильних матеріалів різного цільового призначення. При цьому основна увага приділена використанню сучасних нанотехнологій для надання текстильним матеріалам потрібної атмосферостійкості та біостійкості.

Автори роботи [12] відзначають, що у швейній галузі намітилися нові напрямки виготовлення одягу в зв'язку з використанням різних видів нановолокон і завершальної обробки із застосуванням наноемульсій і нанодисперсій. При цьому текстильним матеріалам надаються такі властивості, як водо- і маслостійкість, брудовідштовхувальність, антистатичність, термостійкість, формостійкість, антибактеріальні ефекти тощо. Текстильні вироби із захисними функціями – це трикотажна білизна, спортивні вироби, спецодяг, одяг для військових та інші вироби.

Авторами роботи [13] обґрунтована концепція тестування нанотекстилю медичного призначення як нового товару на вітчизняному ринку. Дано класифікацію та характеристику асортименту медичного нанотекстилю. Основну увагу приділено обґрунтуванню інноваційних властивостей цього товару, а також економічній, екологічній та технологічній доцільності впровадження його на ринок як нового товару. Вивчена специфіка формування даного ринку. Сформульована маркетингова концепція медичного нанотекстилю як нового виду товару на вітчизняному ринку.

В роботі [14] надано аналіз асортименту та властивостей нанотекстилю на вітчизняному та зарубіжному ринках. Названі найбільш популярні виробники текстильної нанопродукції. Відзначені перспективи розвитку нанотекстилю різного цільового призначення в Україні та світі.

В роботі [15] представлено аналіз літературних джерел і результатів власних досліджень нанотекстилю різного цільового призначення і способів виробництва. Основна увага приділена питанням формування рівня якості та безпечності текстильної нанопродукції в Україні та формування її ринку. Обґрунтовано доцільність проведення поглиблених товарознавчих досліджень оптимальності структури асортименту і властивостей нанотекстилю різного цільового призначення.

В роботі [16] проаналізовано літературні джерела, що стосуються використання сучасних нанотехнологій для виробництва текстильних матеріалів із заданими властивостями різного цільового призначення. Розглянуто можливість впровадження сучасних технологій у дослідження та виробництво товарів легкої промисловості та перспективні напрямки розвитку інновацій швейної промисловості. Окрім того, окреслено перспективні напрямки розвитку інновацій: нанотехнології, біо- та фотоінформатика, технології інформаційної підтримки процесів життєвого циклу товарів; описано асортимент текстильних виробів з захисними функціями.

Автором роботи [17] розроблено теоретико-методологічні основи формування вітчизняного сировинного ринку екологічнобезпечної рослинної сировини текстильного призначення. Доведено, що деякі теоретичні положення названих основ доцільно використати для формування і розвитку вітчизняного ринку нанопродукції. Насамперед, це стосується формування концептуальних методів для формування і розвитку ринку нанопродукції в Україні, визначення кількісних характеристик функціонування даного ринку, а також аналізу кон'юнктури його розвитку.

Мета роботи: експертиза нанотекстилю як нового товару на ринку України і вивчення можливості та доцільності створення окремого сегменту вітчизняного ринку текстильної нанопродукції, як це прийнято у багатьох економічно розвинутих країнах світу.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Реалізуючи практичну частину даної роботи, вважаємо за доцільне:

- конкретизувати методику експертизи нанотекстилю як нового товару на вітчизняному ринку;
- сформулювати та обґрунтувати вимоги до інформаційного забезпечення розвитку даного ринку;
- обґрунтувати теоретико-методологічні засади формування вітчизняного сегменту ринку нанотекстилю в рамках вже існуючого ринку нанопродукції України [13, 17].

Розглянемо більш детально названі блоки питань, акцентуючи основну увагу на товарознавчі аспекти їх вирішення [15].

1. Розглядаючи особливості методики експертизи нанотекстилю одягового, медичного та спеціального призначення як нового товару на сучасному вітчизняному ринку особливу увагу, на наш погляд, варто приділити врахуванню таких його властивостей, якості та безпечності:

- переліку і врахуванню конкретних унікальних властивостей кожного виду нанотекстилю одягового, медичного та спеціального призначення;–
- виявленню і врахуванню конкурентних переваг названих видів нанотекстилю над аналогічними виробами традиційного асортименту;
- обґрунтуванню економічної, екологічної та соціальної доцільності виробництва і реалізації відзначених видів нанотекстилю;
- впровадженню рівня безпечності нанопродукції та її виробництва для здоров'я людини.

Наведена інформація свідчить про необхідність створення окремої методики тестування нанотекстилю як нового товару на вітчизняному товарному ринку нанопродукції в Україні.

2. Розглядаючи потребу у створенні необхідного інформативного забезпечення для функціонування та розвитку нового сегменту ринку нанотекстилю в Україні, на наш погляд, першочергову увагу слід приділити вирішенню наступних завдань:

- виявити та обґрунтувати реальну потребу ринку України в конкретних видах текстилю (включаючи одяг) різного цільового призначення (одягового, медичного, спеціального);
- розробити науково-обґрунтовану класифікацію групування видового та внутрішньовидового асортименту нанотекстилю різного цільового призначення;
- обґрунтувати доцільність впровадження в Україні державної та галузевої системи статистичної звітності виробництва та реалізації основних видів нанотекстилю одягового, медичного та спеціального призначення;
- визначити та обґрунтувати залежність цін нанотекстилю різного цільового призначення від унікальності їх властивостей, рівня якості та безпечності;
- вивчення і узагальнення зарубіжного досвіду виробництва, формування асортименту, якості та безпечності нанотекстилю та організації на його основі спеціалізованих сегментів ринків в окремих країнах;
- розкрити та обґрунтувати роль вітчизняної стандартизації та товарознавчої експертизи у розвитку ринку нанотекстилю в Україні;
- забезпечити тісну ув'язку між знаннями студентів асортименту, властивостей, методами оцінки якості та безпечності нанотекстилю різного цільового призначення і переліком ключових професійних компетентностей у відповідних освітніх стандартах підготовки фахівців товарознавчо-комерційного профілю в університетах сфери легкої промисловості та торгівлі України;
- вивчити та обґрунтувати доцільність підготовки в університетах легкої промисловості та торгівлі України фахівців нового типу, придатних займатися питаннями виробництва та збуту нанопродукції в Україні, включаючи нанотекстиль і одяг.

3. Теоретико-методологічні засади формування вітчизняного ринку нанотекстилю різного цільового призначення.

Аналіз розглянутих в даних роботах літературних джерел [1–21] і результатів власних досліджень з даної проблеми дозволяє сформулювати такі напрямки розвитку нанонауки, нанотекстилю і можливого ринку нанотекстилю в Україні:

- вивчення і узагальнення сировинних, технологічних, фінансових і кадрових можливостей підприємств вітчизняної текстильної промисловості організувати масове виробництво і збуту нанотекстилю різного цільового призначення.
- вивчення можливостей необхідної державної підтримки в організації виробництва нанотекстилю на підприємствах вітчизняної промисловості та його реалізації на спеціалізованому вітчизняному товарному ринку.
- інформацію про основні напрями розвитку нанонауки, нанотехнологій, а також асортимент, властивості, рівень якості і безпечності нанотекстилю різного цільового призначення обов'язково необхідно включити в підручники з технології текстильного виробництва, матеріалознавства і товарознавства для університетів сфери легкої промисловості та торгівлі України.
- вважаємо доцільним в університетах сфери легкої промисловості та торгівлі України відкрити спеціалізовані лабораторії, здатні до проведення усесторонніх досліджень властивостей, оцінки якості та безпечності нанотекстилю одягового, медичного та спеціального призначення.
- постійне збільшення обсягів виробництва та розширення асортименту різноманітної нанопродукції різного цільового призначення, її популярності на вітчизняному та зарубіжному ринках

обумовили потребу і доцільність відкриття при НАН України окремого спеціалізованого журналу «Нанотехнології та нанопродукція України».

### Висновки

Унікальність властивостей багатьох видів нанотекстилю одягового, медичного та спеціального призначення, необхідність їх раціонального використання обумовили потребу створення та стандартизації нової методики експертизи нанотекстилю як нового товару на вітчизняному ринку.

Створено та обґрунтовано необхідне інформаційне забезпечення функціонування і розвитку окремого сегменту ринку нанотекстилю в Україні, пов'язане з формуванням асортименту і оцінкою якості та безпечності нанотекстилю різного цільового призначення. Обґрунтована доцільність проведення більш глибоких досліджень властивостей нанотекстилю одягового, медичного та спеціального призначення, націлених на розроблення теоретико-методологічних засад формування його асортименту, властивостей, якості та безпечності.

### Література

1. 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.
2. 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.
3. Матюшенко І. Ю. Проблема визначення пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в рамках пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні / І. Ю. Матюшенко // Проблеми економіки. – 2011. – № 2. – С. 14–25.
4. Михайленко В. М. Нанотехнології – перспективи застосування та ризику для здоров'я людини / В. М. Михайленко, П. М. Михайленко, Л. О. Єлейко // Онкологія. – 2008. – Т. 10. – № 4. – С. 420–426.
5. Коваленко О. Нанотехнологічні відкриття та розробки в науково-дослідних установах України / О. Коваленко // Вища освіта України. – 2014. – № 1. – С. 47–53.
6. Кизим М. О. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економіках країн світу та України : монографія / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко. – Харків : ВД «ІНЖЕК», 2011. – 392 с.
7. Моїсеєнко Ю. М. Державна підтримка та стимулювання нанотехнологій в Україні [Електронний ресурс] / Ю. М. Моїсеєнко // Ефективна економіка. – 2014. – № 6. – Режим доступу : <http://www.economy.nauka.com.ua>.
8. Ткачова О. А. Науково-технологічний потенціал розвитку вітчизняної сфери нанотехнологій / О. А. Ткачова // Економіка і прогнозування. – 2015. – № 2. – С. 134–147.
9. Остапенко Т. Г. Характеристика глобальних ринків високих та нанотехнологій / Т. Г. Остапенко // Актуальні проблеми міжнародних відносин. – 2016. – Вип. 129. – С. 114–130.
10. Кричевский Г. Е. Нано-, био-, химические технологии и производство нового поколения волокон, текстиля и одежды / Г. Е. Кричевский. – М. : Изд-во «Известия», 2011. – 528 с.
11. 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.
12. Дрегуляк Е. П. Використання новітніх технологій у виготовленні текстилю для одягу / Е. П. Дрегуляк, В. В. Рибальченко, Н. Р. Конахевич // Легка промисловість. – 2010. – № 4. – С. 27.
13. Семак Б. Б. Проблеми формування ринку медичного нанотекстилю в Україні / Б. Б. Семак // Економіка та держава. – 2015. – № 3. – С. 15–18.
14. Матвейцова Д. С. Нанотехнології у виробництві текстильних матеріалів / Д. С. Матвейцова, С. А. Карван, О. А. Параска // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 5. – С. 55–60.
15. Галик І. С. Товарознавчі аспекти формування й оцінювання асортименту, якості та безпечності нанотекстилю / І. С. Галик, Б. Д. Семак // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки. – 2016. – Вип. 17. – С. 5–10.
16. 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.
17. Семак Б. Б. Теоретико-методологічні основи формування вітчизняного сировинного ринку екологічно безпечних товарів текстильної промисловості : монографія / Б. Б. Семак ; [за ред. М. А. Коваленка]. – Херсон : Гринь Д. С., 2011. – 232 с.
18. Пахолок О.В. Нові технології ефективного захисту текстилю від мікробіологічних пошкоджень / О.В. Пахолок, І.А. Мартиросян, Б.Д. Семак, О.З. Комаровська-Порохнявець та ін. // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2019. – № 4. – С. 621–636.
19. Martirosyan I. Investigation of wear resistance of cotton-polyester fabric with antimicrobial treatment Advanced Manufacturing Processes / I. Martirosyan, O. Pakholiuk, B. Semak, V. Lubenets // Selected Papers from the Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes. – LNME. – 2020. – P. 433–441. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_44).

20. Peredriy O., Pakholiuk O., Martirosyan I. Thermal properties of coatings based on full aluminosiloxane polymer. *Materials Research Express*. 2020. 16 January. URL: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c97>.

21. Мартиросян І.А. Вплив нової тіосулфонатної антимікробної обробки на стійкість текстильних матеріалів / І.А. Мартиросян, О.В. Бочарова // Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький. – 2020. – № 1. – С. 130–135.

#### References

1. Salikhova O. B. Derzhavna polityka u sferi nanonauky ta nanotekhnologii v Ukraini z urakhuvanniam orientyryv YeS / O. B. Salikhova // *Ekonomika i prohnozuvannia*. – 2014. – № 3. – S. 121–136.
2. Fesenko O. M. Problemy ta perspektyvy rozvytku nanotekhnologii v Ukraini ta sviti / O. M. Fesenko, S. V. Kovalchuk, R. A. Nyshchuk // *Marketynh i menezhment innovatsii*. – 2017. – № 1. – S. 170–179.
3. Matiushenko I. Yu. Problema vyznachennia pryoritetnykh napriamiv rozvytku nanotekhnologii v ramkakh pryoritetiv rozvytku nauky i tekhniki v Ukraini / I. Yu. Matiushenko // *Problemy ekonomiky*. – 2011. – № 2. – С. 14–25.
4. Mykhailenko V. M. Nanotekhnologii – perspektyvy zastosuvannia ta ryzyky dlia zdorovia liudyny / V. M. Mykhailenko, P. M. Mykhailenko, L. O. Yeleiko // *Onkologiya*. – 2008. – Т. 10. – № 4. – S. 420–426.
5. Kovalenko O. Nanotekhnologichni vidkryttia ta rozrobky v naukovo-doslidnykh ustanovakh Ukrainy / O. Kovalenko // *Vyshcha osvita Ukrainy*. – 2014. – № 1. – S. 47–53.
6. Kyzym M. O. Perspektyvy rozvytku i komertsializatsii nanotekhnologii v ekonomikakh krain svitu ta Ukrainy : monohrafiia / M. O. Kyzym, I. Yu. Matiushenko. – Kharkiv : VD «INZHEK», 2011. – 392 s.
7. Moiseienko Yu. M. Derzhavna pidtrymka ta stymuliuvannia nanotekhnologii v Ukraini [Elektronnyi resurs] / Yu. M. Moiseienko // *Efektivna ekonomika*. – 2014. – № 6. – Rezhym dostupu : <http://www.economy.nayka.com.ua>.
8. Tkachova O. A. Naukovo-tehnologichniy potentsial rozvytku vitchyznianoї sfery nanotekhnologii / O. A. Tkachova // *Ekonomika i prohnozuvannia*. – 2015. – № 2. – S. 134–147.
9. Ostapenko T. H. Kharakterystyka hlobalnykh rynkiv vysokokh ta nanotekhnologii / T. H. Ostapenko // *Aktualni problemy mizhnarodnykh vidnosyn*. – 2016. – Vyp. 129. – S. 114–130.
10. Krichevskij G. E. Nano-, bio-, himicheskie tehnologii i proizvodstvo novogo pokoleniya volokon, tekstilya i odezhdy / G. E. Krichevskij. – M. : Izd-vo «Izvestiya», 2011. – 528 s.
11. Halyk I. S. Problemy formuvannia ta otsiniuvannia ekolohichnoi bezpechnosti tekstyliu : monohrafiia / I. S. Halyk, B. D. Semak. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi komertsiiinoї akademii, 2014. – 488 s.
12. Drehulias E. P. Vykorystannia novitnikh tekhnologii u vyhotovlenni tekstyliu dlia odiahu / E. P. Drehulias, V. V. Rybalchenko, N. R. Konakhevych // *Lehka promyslovist*. – 2010. – № 4. – S. 27.
13. Semak B. B. Problemy formuvannia rynku medychnoho nanotekstyliu v Ukraini / B. B. Semak // *Ekonomika ta derzhava*. – 2015. – № 3. – S. 15–18.
14. Matveitsova D. S. Nanotekhnologii u vyrobnytsvi tekstylnykh materialiv / D. S. Matveitsova, S. A. Karvan, O. A. Paraska // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2014. – № 5. – S. 55–60.
15. Halyk I. S. Tovaroznavchi aspekty formuvannia y otsiniuvannia asortymentu, yakosti ta bezpechnosti nanotekstyliu / I. S. Halyk, B. D. Semak // *Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2016. – Vyp. 17. – S. 5–10.
16. Kutsenko T. V. Vykorystannia novitnikh tekhnologii u vyhotovlenni tekstylnykh materialiv iz zadanymy vlastyvostiamy / T. V. Kutsenko // *Naukovi zapysky [Kirovohradskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Vynnychenka]*. Serii: *Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnologichnoi osvity*. – 2017. – Vyp. 12(2). – S. 179–184.
17. Semak B. B. Teoretyko-metodolohichni osnovy formuvannia vitchyznianoho syrovynnoho rynku ekolohichno bezpechnykh tovariv tekstylnoi promyslovosti : monohrafiia / B. B. Semak ; [za red. M. A. Kovalenka]. – Kherson : Hryn D. S., 2011. – 232 s.
18. Pakholok O. V. Novi tekhnologii efektyvnoho zakhystu tekstyliu vid mikrobiolohichnykh poskodzhen / O. V. Pakholok, I. A. Martyrosian, B. D. Semak, O. Z. Komarovska-Porokhniavets ta in. // *Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnologii*. – 2019. – № 4. – S. 621–636.
19. Martirosyan I. Investigation of wear resistance of cotton-polyester fabric with antimicrobial treatment *Advanced Manufacturing Processes* / I. Martirosyan, O. Pakholiuk, B. Semak, V. Lubenets // *Selected Papers from the Grabchenkos International Conference on Advanced Manufacturing Processes*. – LNME. – 2020. – R. 433–441. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_44).
20. Peredriy O., Pakholiuk O., Martirosyan I. Thermal properties of coatings based on full aluminosiloxane polymer. *Materials Research Express*. 2020. 16 January. URL: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c97>.
21. Martyrosian I. A. Vplyv novoї тіосулфонатної антимикробної обробки на стійкість текстильних матеріалів / I. A. Martyrosian, O. V. Bocharova // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Khmelnytskyi*. – 2020. – № 1. – S. 130–135.

Рецензія/Peer review :19.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.

Д.В. ПРИБЕГА, С.В. СМУТКО, М.Є. СКИБА, С.Ю. КОРСУН  
Хмельницький національний університет

## ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНО РОЗГОРНУТОГО ЗОБРАЖЕННЯ

У роботі розглянуто можливість створення пристрою для формування динамічно розгорнутого кольорового зображення з невеликою кількістю діодів. Запропоновано конструкції блоків індикації для формування динамічно розгорнутого зображення (7-колірного та повноколірного). Для запропонованих блоків індикації розроблено електричні схеми, блоки живлення, генерації та керування, а також конструкції лінійок зі світлодіодами. Розроблено програмний код для формування зображення. Виготовлено стенд для формування динамічно розгорнутого кольорового зображення та підтверджено працездатність блоків індикації.

Ключові слова: повноколірне зображення, динамічно розгорнуте зображення, блок індикації, лінійка світлодіодів.

D.V. PRYBEGA, S.V. SMUTKO, M.YE. SKYBA, S.Y. KORSUN  
Khmelnitskyi National University

## APPLICATION OF MICRO-PROCESS CONTROL SYSTEMS FOR THE FORMATION OF DYNAMICALLY-EXPANDED IMAGE

The aim of the research is to develop a device for dynamically-expanded color image formation with a small number of diodes. Design of the indication unit for the formation of dynamically-expanded 7-color image has been put forth. For imaging, it uses RGB diodes and shift register that are installed on a special moving line, imaging being done with a group of RGB diodes pixels, the color of which is set by a program via control system depending on the speed of their motion and plane or space positioning coordinates. Moreover, a design of indication unit for the formation of full-color dynamically-expanded image, in which full spectrum of each RGB diode is set with a program via a chip of signal pulse-width modulation has been proposed. Electric circuits, power, generation, and control units as well as line construction units with light-emitting diodes have been developed for the proposed indication units. After electric circuits have been checked, a number of works including elaboration of a model of printed circuit boards, installation, and development of experimental samples have been done. Project work was done in OrCADCapture automated design system taking into account general recommendations regarding development and design of electronic control systems. Several ways of light-emitting diodes installation have been suggested. Depending on the number of diodes on a line, distance between them, and the system of signal formation, an image of various resolutions and color spectrum can be obtained. A program code for imaging has been developed. The system of dynamically-expanded image formation was installed on a bicycle wheel for experimental research. As a result of the research, parameters of indication units have been calculated and their working capacity has been proven.

Key words: full-color image, dynamically-expanded image, indication unit, line of light-emitting diodes.

### Вступ

Життя сучасного суспільства важко уявити без реклами. Реклама є динамічною сферою людської діяльності, що швидко трансформується. Характер реклами, її зміст і форма постійно змінюються і зазнають кардинальних метаморфоз одночасно з розвитком продуктивних сил суспільства, зміною соціально-економічних формацій, а також зі зростаючими технічними можливостями.

На ряду з класичними рекламними інструментами з кожним днем завойовує все більшу й більшу популярність динамічна світлодіодна реклама. Вона привертає увагу завдяки використанню кольорового контрасту, який виникає в результаті запрограмованого включення та виключення освітлювальних елементів різного кольору. На тлі звичайних статичних вивісок динамічна реклама здається більш виразною, такою, що виривається вперед, активно, але досить ненав'язливо запрошує відвідати рекламовану організацію. Ефективність динамічної зовнішньої реклами надзвичайно висока, адже в основі її лежать економічні світлодіодні технології, які забезпечують подібним виробам відносно невисоку вартість. Витрати на виготовлення led вивіски виявляються дуже низькими в порівнянні з впливом на потенційних клієнтів компаній. Інформаційно-реklamні системи на основі електронних екранів відкрили абсолютно новий вид зовнішньої реклами – «зовнішнє відео і телебачення». Вони можуть бути як пересувними, так і стаціонарними. На відміну від звичайних установок (в тому числі неонових або на основі об'ємних світлових букв), щитів (білбордів), що використовуються в зовнішній рекламі, на електронних панно нового покоління можливо відображати відео, мультимедійну, кольорову динамічну інформацію, а також оперативно оновлювати рекламні матеріали, що відразу зробило їх настільки ефективними і популярними в усьому світі.

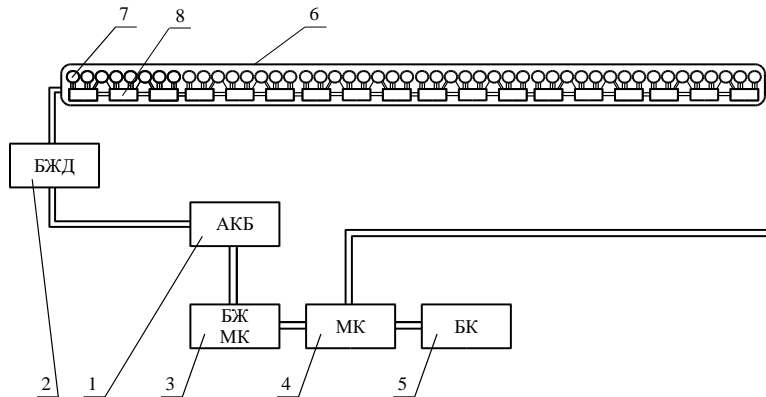
Незважаючи на досить широкі можливості світлової реклами, на сьогодні існують технічні засоби, що дозволяють розширити спектр її використання. Можливо створити системи відображення зображень в кольоровому RGB-форматі, наприклад, на світлових динамічних рекламах, інформаційних табло, рухомих елементах конструкцій, розташованих на стаціонарних або мобільних об'єктах. При цьому можливо значно знизити кількість діодів, що утворюють зображення, а як наслідок знизити вагу та енерговитрати світлових установок, відповідно і собівартість рекламного модуля.

**Мета дослідження.** В основу даних досліджень покладено завдання створення пристрою для формування динамічно розгорнутого кольорового зображення з невеликою кількістю діодів, з метою зменшення енерговитрат.

**Виклад основного матеріалу**

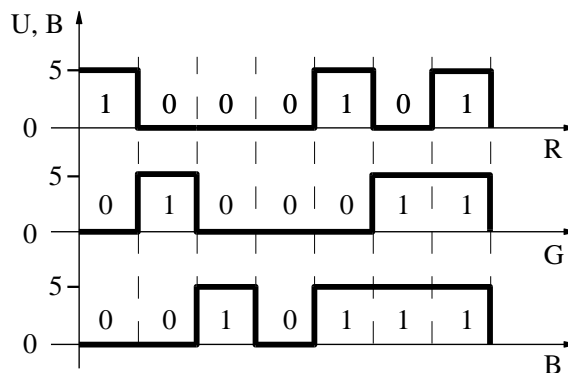
Поставлене завдання досягається тим, що авторами статті запропоновано конструкцію блоку індикації для формування динамічно розгорнутого зображення, який містить діоди, систему керування та блок живлення, використовує для побудови зображення RGB-діоди та реєстри зсуву, які змонтовані на спеціальній рухомій лінійці, при цьому зображення формується групою пікселів – RGB-діодів, колір яких задається програмно від системи керування залежно від швидкості їх руху та координат розташування на площині або в просторі [1].

Пристрій складається з акумуляторної батареї 1 (рис. 1), блоку живлення діодів 2, блоку живлення мікроконтролера 3, мікроконтролера 4, блоку керування 5 та блоку індикації 6. Блок індикації 6 представляє собою спеціальну лінійку, на якій змонтовано діоди 7 та реєстри зсуву 8.



**Рис. 1. Структурна схема блоку індикації для формування динамічно розгорнутого зображення**

За допомогою програми керування формується цифровий код, який через спеціальний реєстр зсуву 8 (рис. 1) зміщується в напрямку від першого діода 7 до останнього. Оскільки кожен діод містить три кристали R, G та B, то і код керування повинен бути трирозрядним. Для отримання одного з семи можливих кольорів необхідно на кожен RGB-діод подати окремий визначений код (рис. 2): код 100 відповідає червоному кольору; 010 – зеленому; 001 – синьому; 000 – чорному; 101 – рожевому; 011 – бірюзовому; 111 – білому. Наприклад, для 48 діодів необхідно за допомогою реєстрів зсуву змістити 144-розрядний двійковий код.



**Рис. 2. Схема формування коду кольору діода**

Кожен реєстр зсуву є 8-розрядним пристроєм, що здатен сформувати на виході 8-розрядний бінарний код, що дозволяє підключити 8 розрядів діодів. Так як кожен діод вимагає 3 розряди керування, до одного реєстру зсуву можна підключити 2 повних діода і 2 розряди третього діоду (рис. 1), наприклад R і G кристали, тобто на 3 реєстри зсуву припадає 8 діодів. Тому кількість діодів повинна бути кратною 8. В іншому випадку спостерігається недовикористання потужності складових елементів, тобто відбувається збільшення витрат коштів на реєстри зсуву.

Особливість процесу керування полягає в тому, що підключення реєстрів зсуву відбувається послідовно, тому для зміни кольору одного з діодів необхідно змінити один з розрядів керування, а вміст всіх реєстрів, тобто 144-розрядний код для 48 діодів необхідно змінити повністю.

Програмний код для формування зображення являє собою послідовність бітових даних, сформованих таким чином, щоб залежно від послідовності підключення діодів до реєстрів зсуву (підключення діодів складається в процесі проектування друкованої плати і є непослідовним відносно передачі даних) в заданий момент часу формувати на лінійці діодів потрібний «піксель» зображення. Для цього використовується спеціально складена програма. Основною задачею такої програми є завдання масштабу, положення зображення, редагування кольорових налаштувань і формування на виході коду зображення – масиву даних, що передається в пам'ять контролера системи управління.



Під час формування вихідного коду програма здійснює аналіз обраної зони зображення за розгорткою по колу, і, попередньо здійснивши корекцію кольорів та накладання обраного алгоритму усереднення зони вихідного зображення, що припадає на один піксель зображення на діодній лінійці, формує код поточного пікселя (RGB-діода). Після обробки всього зображення окрема функція здійснює бітове сортування всього отриманого масиву для створення потрібної послідовності передачі даних залежно від версії пристрою, на який маємо здійснити передачу даних зображення.

Таким чином під час поступального або обертального руху блоку індикації на площині або в просторі формується зображення групою пікселів (RGB-діодів), колір яких задається програмою системи керування залежно від швидкості руху та координати розташування RGB-діода.

Довжину лінійки блоку індикації  $L$  (рис. 3) визначають за наступною формулою:

$$L = B \cdot n + \Delta_{\min} \cdot (n - 1) + 2 \cdot \Delta_T, \quad (1)$$

де  $B$  – габаритний розмір діода, мм;  $n$  – кількість діодів, що є кратною 8;  $\Delta_{\min}$  – мінімальна необхідна відстань між діодами, що залежить від умов та можливостей монтажу, мм;  $\Delta_T$  – технологічна відстань, мм.

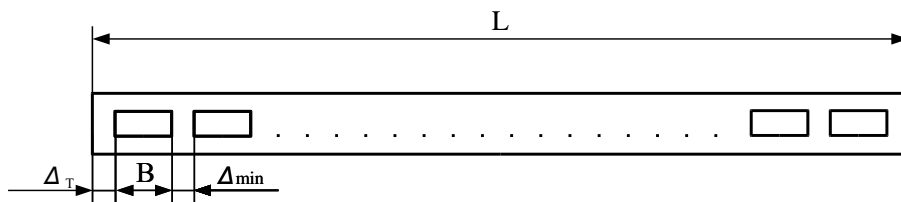


Рис. 3. Розрахункова схема довжини лінійки блоку індикації

Запропонований блок індикації для формування динамічно розгорнутого зображення має переваги за рахунок використання RGB-діодів та регістрів зсуву [3], які дозволяють значно зменшити кількість діодів, що розташовані на спеціальній лінійці та здатні формувати кольорове зображення під час її руху, а також за рахунок застосування системи програмного керування зміною кольору окремого діода.

Недоліком даного блоку є те, що можливо отримати розгорнуте зображення лише з 7 кольорів. Тому наступним кроком даного дослідження було створення блоку індикації для формування повноколірного динамічно розгорнутого зображення.

Поставлене завдання досягається тим, що блок індикації для формування повноколірного динамічно розгорнутого зображення, який містить групу RGB-діодів, змонтованих на лінійці, яка рухається поступально або обертально, систему керування та блок живлення, повний спектр кольорів кожного RGB-діода задається програмно через мікросхему широтно-імпульсної модуляції сигналу [3].

Пристрій складається з акумуляторної батареї 1 (рис. 4), блоку живлення діодів 2, блоку живлення мікроконтролера 3, мікроконтролера 4, блоку керування 5 та блоку індикації 6. При цьому блок індикації 6 представляє собою спеціальну лінійку, на якій змонтовано діоди 7 та мікросхеми широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) сигналу 8, що живляться по лініях 10, 11 [2].

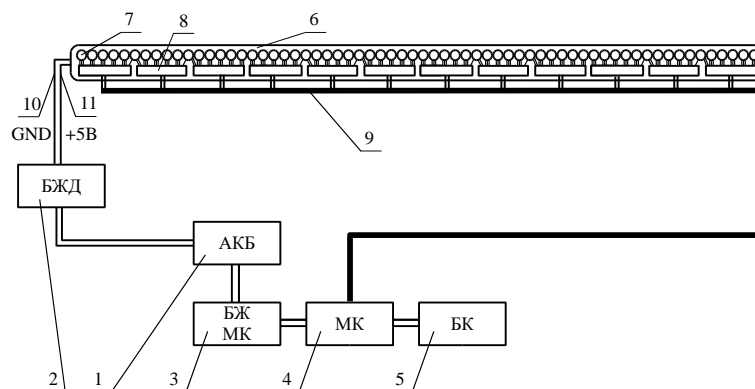


Рис. 4. Структурна схема блоку індикації для формування повноколірного динамічно розгорнутого зображення

За допомогою програми керування формується 16-розрядний цифровий код, який по послідовній шині даних 9 подається на мікросхему 8 формування ШІМ сигналу. Оскільки кожен діод 7 містить три кристали R, G та B, то до мікросхеми під'єднують три позитивні виводи діода, а спільний вивід діодів – до загальної лінії живлення 10. Для отримання повного спектру кольорів необхідно на кожен RGB-діод подати окремий рівень напруги, що формується мікросхемою залежно від програмного коду.

Залежно від типу мікросхеми ШІМ сигналу, до її виводів можна підключити декілька діодів. У випадку, коли мікросхема містить 16 виводів, до неї можна підключити 16 кристалів 5 діодів та 1 кристал наступного 6-го діода.

Програмний код для формування зображення (рис. 5) являє собою послідовність бітових даних, сформованих таким чином, щоб залежно від послідовності підключення діодів до мікросхеми ШІМ сигналу, в заданий момент часу формувати на лінійці діодів потрібний «піксель» зображення. Для цього використовується спеціально складена програма. Основною задачею такої програми є завдання масштабу, положення зображення, редагування кольорових налаштувань і формування на виході коду зображення – масиву даних, що передається в пам'ять контролера системи управління. Під час формування вихідного коду програма здійснює аналіз обраної зони зображення за розгорткою по колу  $i$ , попередньо здійснивши корекцію кольорів та накладання обраного алгоритму усереднення зони вихідного зображення, що припадає на один піксель зображення на діодній лінійці, формує код поточного пікселя (RGB-діода).

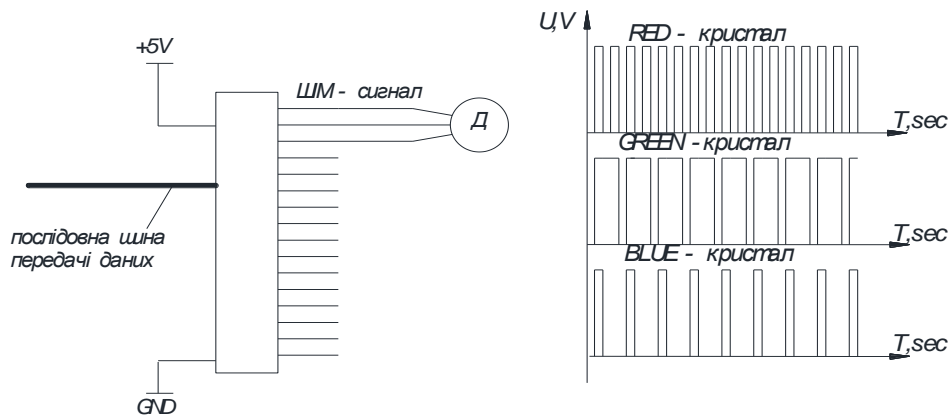


Рис. 5. Схема формування коду кольору діода

Таким чином, під час поступального або обертального руху блоку індикації на площині або в просторі, групою пікселів (RGB-діодів), колір яких задається програмою системи керування в залежності від швидкості руху та координати розташування RGB-діода, формується зображення.

Максимальна можлива кількість кольорів для RGB-діоду 2553 комбінацій і обмежується здатністю мікросхеми ШІМ сигналу генерувати різні рівні напруги на кожному кристалі. Так, у випадку застосування 16-розрядної ШІМ-мікросхеми на її вхід необхідно подати 16-розрядний сигнал керування, тобто 2 байти даних, що дозволить згенерувати  $2^{16} = 65536$  варіантів рівнів напруги живлення кристалів RGB-діоду, а відповідно і 65536 кольорів.

Кількість діодів на блоці індикації визначають з умови максимального використання виводів ШІМ мікросхем:

$$n = \frac{Nmik \cdot Nout}{3}, \tag{2}$$

де  $Nmik$  – кількість мікросхем на лінійці блоку індикації;  $Nout$  – кількість виводів мікросхеми ШІМ сигналу.

Порівняльний аналіз показує, що блок індикації для формування повноколірного динамічно розгорнутого зображення має переваги за рахунок використання мікросхем ШІМ сигналу, що надає можливість значно збільшити кольоровий спектр графічних зображень.

Наступним етапом досліджень було розроблення електричної схеми блоків живлення, генерації та керування, а також лінійок з світлодіодами. Після перевірки електричних схем було проведено ряд робіт, що включали розроблення макету друкарських плат, виконання монтажних робіт та виготовлення експериментальних зразків. Виконання проектних робіт проводилось в системі автоматизованого проектування OrCAD Capture з урахування загальних рекомендацій щодо розробки та проектування електронних систем керування [3, 4].

Авторами статті запропоновано декілька варіантів виконання монтажу лінійок світлодіодів, що наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

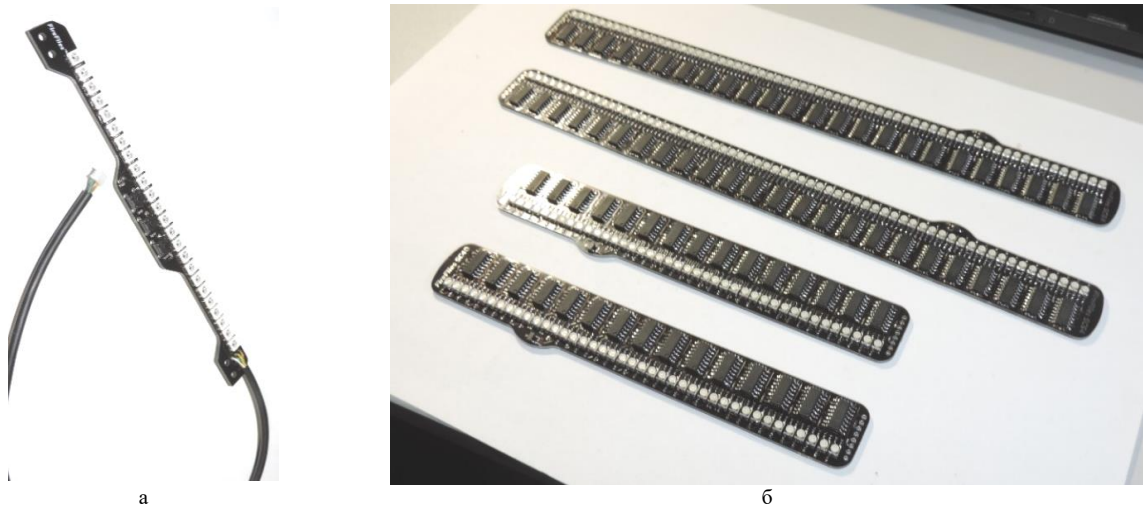
**Варіанти монтажу світлодіодних лінійок**

Назва релізу	Кількість діодів на монтажній планці			
	24 (тест-версія)	37	40	64
7-колірне виконання	SC24		SC160	SC256
Повноколірне виконання		HDFC 148		HDFC 256

Залежно від кількості діодів на лінійці, відстані між ними та системи формування сигналу можна отримувати картинку різної роздільної здатності та кольорової передачі. На рис. 6 наведено приклад виконання монтажної планки SC24 з 24 RGB діодами, що в комплексі з системами керування та живлення здатна відображувати 7-колірні зображення. Даний варіант виконання планки було виконано для тестування

системи та налагодження механізму генерування та формування зображення.

Після проведення ряду експериментів та введення змін в алгоритм програми формування зображення були спроектовані варіанти на 37, 40 та 64 діода для семиколірних та повноколірних систем (рис. 6, 7).



**Рис. 6. Монтажна планка для формування 7-колірного зображення:**  
 а) тестова демоверсія 24 RGB-діода (SC24),  
 б) промислова версія, що містить 40 та 64 RGB-діода (відповідно, SC160, SC256)



**Рис. 7. Монтажна планка для формування повноколірного зображення, що містить 64 RGB-діода**

Авторами статті розроблено електричну схему живлення контролера, монтажну плату блоку формування динамічно розгорнутого зображення на базі МП STM32F44VCT6 (рис. 8).

Для отримання кольорового зображення, що формується внаслідок обертання світлодіодної планки, було написано дві програми керування: «низького» та «високого» рівнів.

Програму «низького» рівня складено на мовах програмування C та C++ та застосовується для програмування мікропроцесора STM32F44VCT6 [5, 6], а саме формування електричних сигналів живлення кристалів RGB діода залежно від кількості планок та частоти обертання плоскої системи формування зображення.

Формування коду генерації сигналів, що записується в EEPROM мікропроцесора, відбувається в програмі «високого рівня». Дана програма має версію для ПК, а також мобільну версію для смартфонів та планшетів на платформі Android. Для написання програми високого рівня застосовувалися мови програмування C, C++ та Java [7]. Основні функціональні можливості програми наступні:

- автоматична ініціалізація пристрою;
- налаштування;
- редагування зображення;
- графічний редактор;
- зворотний зв'язок;
- передача даних через bluetooth 2.0-4.0;
- підтримка анімацій.

На рис. 9 наведено зовнішній вигляд програмного забезпечення генерування коду.

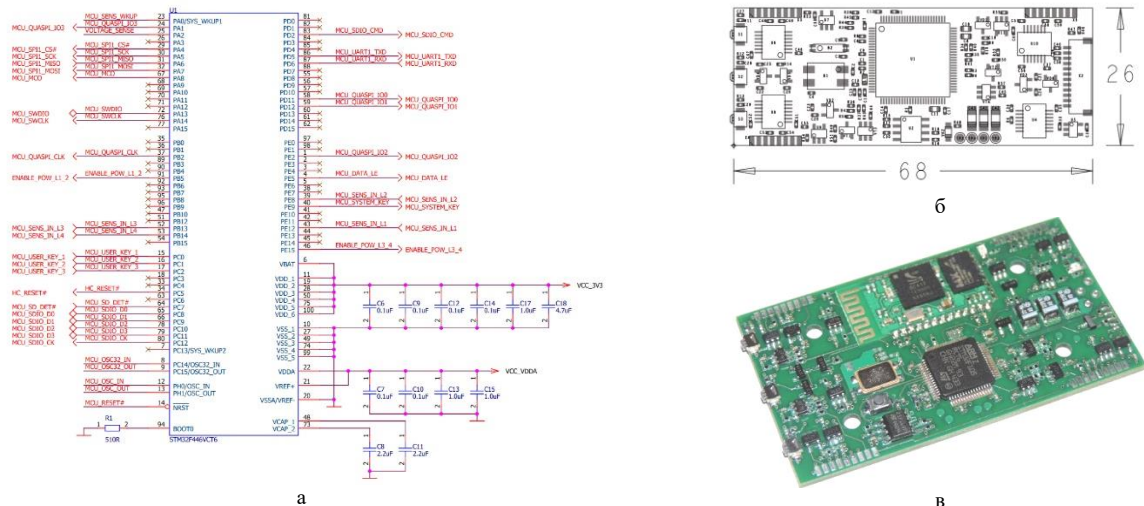


Рис. 8. Блок формування динамічно розгорнутого зображення на базі МП STM32F44VCT6:  
 а) електрична схема живлення контролера (фрагмент електричної схеми);  
 б) макет плати керування; в) фотографія плати керування



Рис. 9. Програмне забезпечення генерування коду для плати керування та формування зображення:  
 а – модуль підготовки зображення; б – попередній перегляд зображення плоскої системи обертання;  
 в – збільшений фрагмент генерованого варіанту зображення в модулі попереднього перегляду

Згенерований код для мікропроцесора передається на блок формування динамічно розгорнутого зображення через bluetooth 2.0-4.0.

Розроблено стенд для формування повноколірного зображення в площині, що містить станину, велосипедне колесо та змонтовані на ньому 2 лінійки HDFC 256, блок живлення, плату (рис. 10). Фото стенду не ілюструє повної картини генерованого зображення, так як виконане з короткою витримкою, проте чітко демонструє наявність лише 2-х лінійок зі світлодіодами.



Рис. 10. Стенд для формування динамічно розгорнутого кольорового зображення:  
 а) формування зображень в площині, б) формування зображень в просторі

На рис. 11 наведено фото виведення зображень із застосуванням повноколірного модуля HDFC 256, що містить 64 RGB. Дані фото виконанні з тривалою витримкою, що підбиралась експериментальним шляхом, з метою отримання повної картини генерованого зображення.



Рис. 11. Приклад виведення зображень із застосуванням повноколірного модуля, що містить 64 RGB діода

Для експериментальних досліджень систему формування динамічно розгорнутого зображення було встановлено на колесі велосипеда. Так як під часу руху велосипедиста, швидкість транспортного засобу постійно змінюється, необхідно провести розрахунки, що підтверджують можливість виведення зображення системою, що змонтована на колесі.

При розрахунку параметрів систем динамічно розгорнутих зображень виходимо з того, що око людини здатне сприймати зображення, які оновлюються з частотою 50 Гц як статичне зображення, тобто кутова швидкість колеса має становити  $\omega = 50 \text{ с}^{-1}$

Лінійну швидкість колеса встановимо із залежності:

$$V = \omega \cdot R, \quad (3)$$

де  $R$  – радіус колеса велосипеда, м;

$\omega$  – кутова швидкість системи,  $\text{с}^{-1}$ .

Визначимо мінімально необхідну частоту обертання стенду з урахуванням кількості змонтованих лінійок. Кутова швидкість  $\omega$  системи:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (4)$$

Тоді необхідну частоту обертання з урахуванням кількості діодних лінійок знайдемо із залежності:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi \cdot k}, \quad (5)$$

де  $k$  – кількість лінійок з діодами

В табл. 2 наведено розрахунок лінійної швидкості велосипеда залежно від радіуса колеса. Розрахунки проведено для велосипедних коліс радіусом 0,2 та 0,4 м. Як видно за результатами розрахунків, лінійна швидкість переміщення велосипеда має становити відповідно 36 та 72 км/год. Так як, середня швидкість руху велосипедиста лежить в діапазоні від 15 до 55 км/год, встановлення однієї діодної лінійки не забезпечує формування динамічно розгорнутого зображення для нормального сприйняття людським зором. З цією метою необхідно збільшити кількість лінійок та вносити корективи в алгоритм формування зображення. Як видно з таблиці 2 під час монтування більше однієї лінійки для формування динамічно розгорнутого зображення, необхідна швидкість руху велосипеда лежить в середньому діапазоні від 15 до 55 км/год. Для стаціонарних систем (рис. 10, а) можна збільшувати або зменшувати дану швидкість, при цьому збільшення кількості світлодіодних планок дозволяє зменшити частоту обертання стенду, що забезпечить зниження частоти обертання диску але збільшить собівартість виробу.

Так як швидкість руху велосипеда, а відповідно і частота обертання колеса, не є сталими величинами, то в алгоритмі формування зображення передбачене порівняння частоти обертання плоскої системи, кожного наступного оберту із попереднім. У випадку гальмування системи (частота обертання оберту менша за попереднє значення) затримка між сигналами керування збільшується, у випадку прискорення – затримка зменшується. Таким чином забезпечується необхідна якість зображення.

Таблиця 2

**Розрахунок лінійної швидкості велосипеда**

Параметр	Значення	
Необхідна кутова швидкість колеса з умови сприйняття зображення людським зором, $c^{-1}$	50	50
Радіус колеса, м	0,2	0,4
Лінійна швидкість колеса, м/с	10	20
Швидкість велосипеда, км/год.	36	72
Швидкість велосипеда при двох змонтованих лінійках, м/с	18	36
Швидкість велосипеда при трьох змонтованих лінійках, м/с	13	24

Окрім формування динамічно розгорнутих зображень на площині можливо формування зображень в просторі (рис. 10, б), що значно збільшує оглядовість стаціонарних систем відображення. За рахунок обертання одного пікселя навколо геометричного центру стенду з кутовою швидкістю більшою ніж  $50 c^{-1}$  людський зір здатен буде сприймати однозначно зображення з будь-якої точки спостереження стенду. Результати розрахунків параметрів системи для формування зображення в просторі наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Розрахунок параметрів системи для формування зображення в просторі**

Параметр	Значення	
Необхідна кутова швидкість колеса з умови сприйняття зображення людським зором, $c^{-1}$	50	50
Розрахунковий радіус стенда, м	0,5	0,75
Лінійна швидкість лінійки з діодами (лінійка лежить на твірній умовного циліндра обертання), м/с	25	37,5
Частота обертання однієї лінійки (лінійного ряду), об/хв	477,71	477,71
Частота обертання трьох лінійок (трьох лінійних рядів), об/хв	159,24	159,24

Як видно за результатами розрахунків (табл. 3), необхідно забезпечити частоту обертання стенду для формування динамічно розгорнутого зображення в просторі 477,71 об/хв при одній змонтованій лінійці. Оскільки рекламні стенди розташовують в місцях масового скупчення людей (торгівельні центри, площі, парки культури та відпочинку), з метою безпечної роботи стенду можна зменшити кількість змонтованих лінійок, що зменшить частоту обертання стенду, а його обертові частини захистити прозорим екраном.

**Висновки**

В основу даних досліджень покладено завдання створення пристрою для формування динамічно розгорнутого кольорового зображення з невеликою кількістю діодів.

Поставлене завдання досягається тим, що авторами статті запропоновано конструкції блоків індикації для формування динамічно розгорнутого зображення (7-колірного та повноколірного).

Для запропонованих блоків індикації розроблено електричні схеми, блоки живлення, генерації та керування, а також конструкції лінійок з світлодіодами. Розроблено програмний код для формування зображення. Після перевірки електричних схем було проведено ряд робіт, що включали розроблення макету друкарських плат, виконання монтажних робіт та виготовлення експериментальних зразків.

Для експериментальних досліджень систему формування динамічно розгорнутого зображення було встановлено на колесі велосипеда. В результаті проведених досліджень було розраховано параметри блоків індикації та підтверджено їх працездатність.

Стенд для формування повноколірного зображення в площині застосовуються в навчальному процесі кафедри машин та апаратів електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету для викладання дисциплін «Мікропроцесорні пристрої та системи керування», «Інженерне проектування обладнання галузі», а також під час дипломного проектування в якості демонстрацій можливостей мікропроцесорних систем.

На промислові зразки та використання даних систем було подано заявку на реєстрацію Знаку для товарів і послуг FireFlies.

**Література**

1. Патент на корисну модель 127703 UA, МПК G09G 3/00, G09F 19/02, G09F 21/04 (2006.01). Блок індикації для формування динамічно розгорнутого зображення / Прибега Д.В., Смутко С.В. – № а 2017 12816 ; заявл. 22.12.2017 ; опубл. 27.08.2018, Бюл. № 16.
2. Патент на корисну модель 133669 UA, МПК G09G 3/00, G09F 19/02, G09F 21/04 (2006.01). Блок індикації для формування повноколірного динамічно розгорнутого зображення / Прибега Д.В., Смутко С.В. – № а 2018 11277 ; заявл. 16.11.2018 ; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.
3. Хмелевский И.В. Схемотехника ЭВМ : учебное пособие. Часть 2 / И.В. Хмелевский. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2010. – 202 с.
4. Алехин В.А. OrCAD 17.2. Анализ и проектирование электронных устройств : учебное пособие для вузов / Алехин Владимир Александрович. – М. : Горячая линия - Телеком, 2019. – 328 с.

5. Перри Г. Программирование на С для начинающих / Грег Перри, Дин Миллер. – 3-е издание. – Москва : Эксмо, 2015. – 368 с.
6. Янта Катупития. Управление электронными устройствами на C++. Разработка практических приложений / Катупития Янта, Бенгли Ким ; [перевод с англ. Бакомчев И.В.]. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 442 с.
7. Эванс Б. Java. Новое поколение разработки / Б. Эванс, М. Вербург. – СПб : Питер, 2014. – 560 с.

#### References

1. Patent na korysnu model 127703 UA, MPK G09G 3/00, G09F 19/02, G09F 21/04 (2006.01). Blok indykatsii dlia formuvannia dynamichno rozghornutoho zobrazhennia / Prybeha D.V., Smutko S.V. – № a 2017 12816 ; zaiavl. 22.12.2017 ; opubl. 27.08.2018, Biul. № 16.
2. Patent na korysnu model 133669 UA, MPK G09G 3/00, G09F 19/02, G09F 21/04 (2006.01). Blok indykatsii dlia formuvannia povnokolirnoho dynamichno rozghornutoho zobrazhennia / Prybeha D.V., Smutko S.V. – № a 2018 11277 ; zaiavl. 16.11.2018 ; opubl. 25.04.2019, Biul. № 8.
3. Hmelevskij I.V. Shemotehnika EVM : uchebnoe posobie. Chast 2 / I.V. Hmelevskij. – Ekaterinburg : UGTU–UPI, 2010. – 202 s.
4. Alehin V.A. OrCAD 17.2. Analiz i proektirovanie elektronnyh ustrojstv : uchebnoe posobie dlya vuzov / Alehin Vladimir Aleksandrovich. – М. : Goryachaya liniya - Telekom, 2019. – 328 s.
5. Perri G. Programirovanie na S dlya nachinayushih / Greg Perri, Din Miller. – 3-e izdanie. – Moskva : Eksmo, 2015. – 368 s.
6. Yanta Katupitiya. Upravlenie elektronnyimi ustrojstvami na C++. Razrabotka prakticheskikh prilozhenij / Katupitiya Yanta, Bentli Kim ; [perevod s angl. Bakomchev I.V.]. – М. : DMK Press, 2016. – 442 s.
7. Evans B. Java. Novoe pokolenie razrabotki / B. Evans, M. Verburg. – SPb : Piter, 2014. – 560 s.

Рецензія/Peer review : 18.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 04.11.2020 р.

## ВИКОРИСТАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ ВОВНЯНОЇ ПРЯЖІ НА ТЕКСТИЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

*Матеріали статті є логічним продовженням тематики, яка пов'язана із практичним застосування електромагнітного НВЧ-поля в промислових умовах роботи текстильних підприємств. Авторами публікації пропонується експериментальна модель установки для очищення вовняної пряжі-сирцю, використання якої дозволить скоротити технологічний процес і підвищити ефективність роботи текстильних підприємств.*

*Ключові слова: вовняна пряжа, сушіння, віджимання, відцентрові сили, центрифуга, НВЧ поле, оптимізація процесу, миючі розчини, технологічні цикли.*

V.O. PRIVALA

Khmelnyskyi National University

### JUSTIFICATION OF THE MICROWAVE DEVELOPMENT DESIGN FOR CLEANING WOVEN YARN IN CONDITIONS OF DOMESTIC TEXTILE ENTERPRISES

*In a highly competitive global textile market, an important factor is the optimization of the fabric production process. However, the cost of textiles made from natural fibers, such as wool yarn, cannot be cheap. Woollen garments are always in the trend of modern fashion. Coats, suits, dresses, sweaters, sweaters, blankets, plaids are products that are traditionally used for woollen fabrics of different thickness, composition and decoration. Therefore, the issue of cheaper technology for the production of textiles from wool yarn is relevant for both domestic and world textile enterprises. The purpose of the research is to create an energy-saving technology for cleaning wool through the use of electromagnetic field of high frequency (microwave) in the conditions of domestic textile enterprises. The essence of the development is to combine the process of spinning wool yarn in an electromagnetic microwave field, which should optimize the process of cleaning wool and increase the productivity of industrial technology.*

*Key words: woollen yarn, drying, spinning, centrifugal force, centrifuge, microwave field, process optimization, cleaning solutions, process cycles.*

#### Вступ

В умовах суворої конкуренції на світовому ринку текстильних матеріалів важливим фактором є оптимізація процесу отримання тканин. Текстиль має бути якісним, недорогим і конкурентоспроможним. Такої концепції більш-менше вдається дотримуватися виробникам тканих матеріалів із синтетичних волокон, які є зовні привабливими і недорогими. За статистикою минулого року домінуючою вихідною сировиною у виробництві волокнистих матеріалів є поліестер. Його частка на світовому ринку в кілька разів перевищує частку його найближчого конкурента – вовни. Проте собівартість текстилю на основі волокон з вовни, беручи до увагу її важливі експлуатаційні властивості, бути дешевою не може. Швейні вироби з вовняних матеріалів завжди в тренді сучасної моди. Пальта, костюми, сукні, светри, кофти, ковдри, пледи – це вироби, для виготовлення яких традиційно застосовується вовняні тканини різної товщини, складу та оздоблення.

Отже, питання здешевлення технології виготовлення текстилю саме з вовняної пряжі є актуальним для вітчизняних текстильних підприємств, які розташовані в Чернігові, Кривому Розі, Одесі, Сумах. Проте сучасна технологія очищення вовни лишається багатостадійною та енерговитратною, що впливає на якість і кінцеву собівартість продукції [1]. Тому метою досліджень є створення енергозберігаючої технології очищення вовни за рахунок використання електромагнітного поля надвисокої частоти (НВЧ) на вітчизняних текстильних підприємствах.

#### Аналіз літературних джерел

Як було зазначено раніше [2–6], застосування високочастотної (ВЧ) енергії для сушіння різних предметів і речовин не є новим і знайшло широке застосування для сушки дерева, продуктів харчування, паперу та ін. Порівняно зі звичайним способом сушіння при ВЧ-сушці тепло виникає всередині матеріалу, який сушать. Це означає, що в ВЧ-полі процес сушіння текстильного волокна починається не з його поверхні, а з середини, і поступово розвивається у напрямку до зовнішньої поверхні. Такий спосіб розігріву є більш швидким у порівнянні з конвекційним. Разом з цим високочастотне нагрівання має і свої недоліки, яких важко позбутися. Наприклад, неможливе отримання фіксованої температури розігріву матеріалів [7–10].

На початку 80-х років минулого століття в ряді високо економічно розвинених країн Європи, в Японії та в США відбулась технічна революція, яка пов'язана із розробкою технологій сушки і розігріву різноманітних матеріалів і речовин за допомогою електромагнітного поля надвисокої частоти (НВЧ). Тобто з'явилися технології термічної обробки продуктів харчування, вулканізації гумових камер, сушки паперу, склеювання деревних плит і так далі в полі надвисоких частот (1450 МГц). Разом з тим, складності конструювання і виготовлення НВЧ-генераторів робила зазначені технічні новачки економічно не вигідними. І тільки на початку 90-х років минулого сторіччя, завдяки здешевленню технології виробництва НВЧ



обладнання, використання НВЧ-технологій отримало новий імпульс розвитку [11–13]. Теоретичні розробки та практичне застосування поля надвисоких частот відображено в наукових роботах і українських вчених: Водотовки Л.І. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»), Березненка М.П. та Березненка С.М. (Київський національний університет технологій і дизайну), Скрипника В.М. (Хмельницький національний університет) та інших. Саме завдяки розробкам цих науковців даний напрям став ближче для вітчизняної легкої промисловості. Зокрема, професор Скрипник В.М. був ініціатором і науковим керівником держбюджетної науково-дослідної роботи, яка присвячена сушінню волокнистих матеріалів в НВЧ-полі [14–16].

### Постановка задачі

В попередній публікації [17] детально викладено теоретичне обґрунтування можливості використання електричного поля надвисоких частот в поєднанні з відцентровими силами для оптимізації процесу очищення вовняної пряжі, а саме, пропонується на відповідному технологічному етапі обробки вовни виконувати її віджим за допомогою центрифугування барабану робочої камери з накладенням на неї дії НВЧ-поля. Саме за рахунок цього передбачається скоротити час на сушку вовни. Для реалізації цієї концепції необхідно розробити відповідну установку, принципова схема якої відображена нижче.

### Викладення основного матеріалу

На рис. 1 зображено схему макету промислової НВЧ-установки. За основу взято конструкцію діючої промислової установки, яка використовується для очищення вовни на вітчизняних текстильних підприємствах. Відмінність полягає у тому, що в новій установці ванну для виконання миття вовни замінено на камеру у вигляді перфорованого барабану конічної форми 3, який має можливість обертатися аналогічно до промислових пральних машин. Крім того, нова установка доукомплектована магнетроном 1 і водяною системою його охолодження, яка складається з ємностей 16 та водяного насосу 15, який спричиняє циркуляцію води в замкнутій системі. Отже, в даній установці тепла енергія передається не нагрітим повітрям, тобто конвекційно, а з допомогою електричного змінного поля частотою 1450 МГц, яке створює магнетрон 1 потужністю 25 кВт.

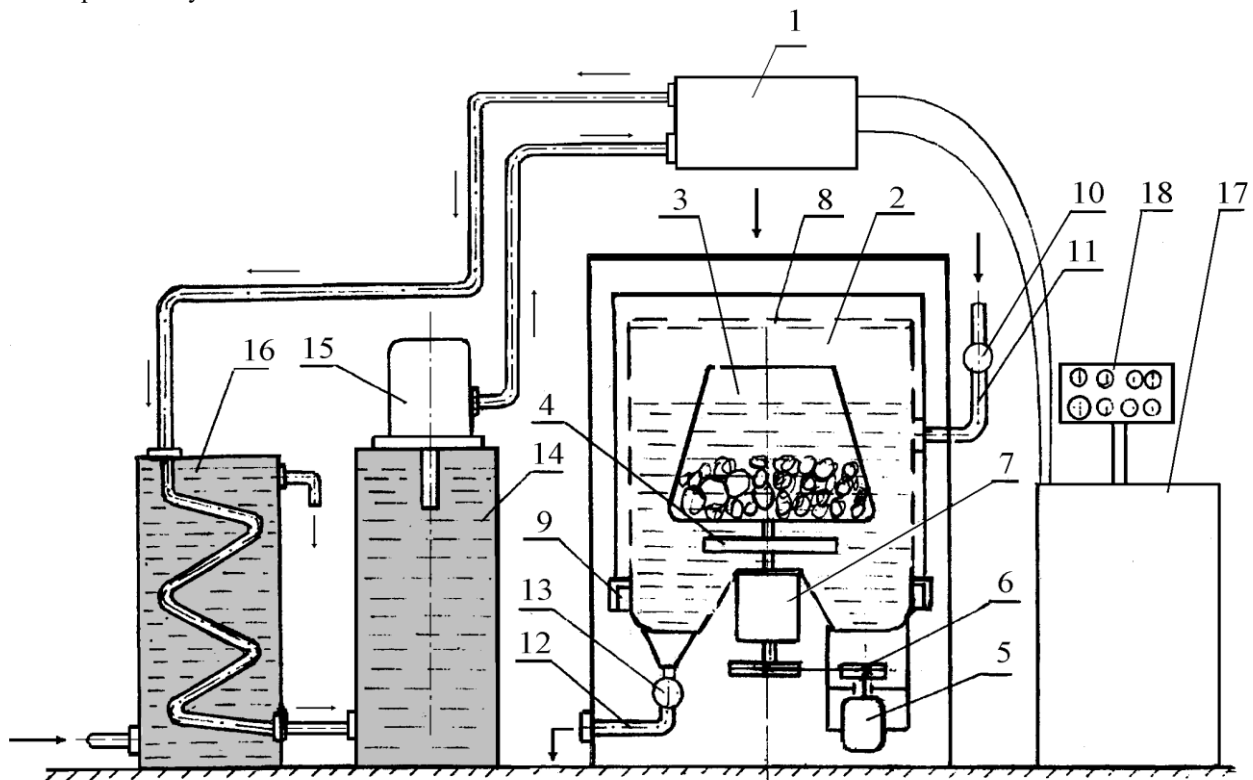


Рис. 1. Схема макету установки для промислового очищення вовняної пряжі з використання НВЧ-поля:  
 1 – НВЧ-генератор (магнетрон); 2 – хвилевод з камерою резонатора; 3 – перфорований барабан; 4 – крилатка для циркуляції миючого розчину; 5 – електродвигун; 7 – редуктор; 8 – кришка резонатора; 9 – амортизатори робочої камери; 10 – патрубок; 11 – насос; 12 – патрубок для зливання миючого розчину; 13 – водяний компресор; 14 – смітник з дистильованою водою; 15 – насос; 16 – установка для охолодження магнетрону; 17 – блок живлення магнетрону; 18 – пульт керування установкою

Технологічна послідовність обробки вовни-сирцю на діючих вітчизняних підприємствах складається з ряду основних і допоміжних виробничих етапів, які перераховані нижче.

1. Кількісне і якісне приймання вовни.
2. Сортування вовни за видами.
3. Сортування вовни в немитому вигляді за сортами.

4. Подача вовни до мийних апаратів.
5. Додавання до вовни живильника-розпушувача.
6. Мийка в п'яти ваннах:
  - перша ванна (розчин соди для замочування вовни);
  - друга і третя ванни (розчин мила і соди);
  - четверта ванна (мильний розчин);
  - п'ята ванна (полоскання).
7. Віджим вовни.
8. Сушка вовни в сушильній машині.
9. Транспортування по вентиляційних трубах на упаковку.
11. Визначення якісних показників по залишковій вологості.
12. Контроль якості.
13. Транспортування готової продукції на склад.

Саме для оптимізації етапів № 7 і 8 (поєднання процесу віджиму та сушіння) і призначена нова установка. Що стосується всіх інших технологічних етапів, то вони лишаються незмінними і тому детально не описуються в даній публікації. Ще однією особливістю нової установки є те, що перфорований барабан 3 має бути виготовлений не з металу, а з полімеру, який спроможний безперешкодно пропускати електромагнітні коливання, що створюють НВЧ-генератор (магнетрон) 1 і хвилевод 2. Отже, після завершення технологічних етапу № 6, перфорований барабан установки має перейти у режим центрифугування для примусового видалення вологи з промітої вовни. Після цього вмикається НВЧ-генератор для створення високочастотного електромагнітного поля, яке і буде генерувати тепло, що є необхідним для повної висихання пряді.

Ще однією особливістю нової установки є необхідність у розробці захисного екрану від можливого шкідливого впливу НВЧ-енергії на оточуючих.

### Висновки

Сучасні інноваційні технології все більше і більше проникають в різноманітні сфери виробничої діяльності. При цьому їх практичне застосування іноді знаходиться у зовсім неочікуваних галузях: хімічній промисловості, сільському господарстві, харчовій промисловості тощо. Наочним прикладом цього є проект установки, який розглядається в даній публікації. Зазначена установка має дозволити переробляти вовняну пряжу в межах 1250–1500 кг/годину, що перевершує продуктивність праці існуючих промислових установок.

### Література

1. Вовняна промисловість України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrknight.org.ua/ukrknight-text/842/17>.
2. Орлов В.В. Перспективы применения микроволновой обработки жидких пищевых продуктов / В.В. Орлов, А.С. Алфёров // НИУИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2006. – № 2. – С. 53–57.
3. Власов В.В. Физика и техника сверхвысокочастотного диапазона электромагнитных колебаний : навч. посібн. / Власов В.В. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. – 169 с.
4. Техника сверхвысоких частот : [учеб. пособ. для вузов ; под ред. Н.П. Собенина]. – 2-е издание, перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 543 с.
5. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ : учебное пособие для вузов / Данилин А.А. – М. : Радиотехника, 2008. – 184 с.
6. Неганов В.А. Устройства СВЧ и антенны: Проектирование, конструктивная реализация, примеры применения устройств СВЧ / Неганов В.А, Клюев Д.С., Табаков Д.П. – Москва : Изд. Стереотип, 2020. – 608 с.
7. Суходолец Л. Г. Мощные вакуумные СВЧ-приборы : учебное пособие по изучению ЭВП СВЧ / Суходолец Л. Г. – Москва : Икар, 2014. – 72 с.
8. Молодцова М.А. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности / Молодцова М.А., Севастьянова Ю.В. – Х. : Лесн.журн.. – 2017. – № 2. – С. 82–83.
9. Баранов А.В. Взаимодополняющие приемы проектирования трехточечных СВЧ-автогенераторов / А.В. Баранов, А.Л. Козиков // Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника / Научно-производственное предприятие "Исток" имени А.И. Шокина. – 2018. – № 3. – С. 75–82.
10. Imenokhoyev I., Matthes A., Walter G. Numerical 3D-FEM-Simulation made by COMSOL Multiphysics of a Microwave Assisted Cleaning System for a Diesel Sooty Particle Filter and its Experimental Validation. In Proceeding Book, International COMSOL Multiphysics Conference, Ludwigsburg 2011, October 26–28.
11. Yan S. J., Zhen L., Xu C. Y., Jiang J. T., Shao W. Z. Microwave absorption properties of FeNi<sub>3</sub> submicrometre spheres and SiO<sub>2</sub> FeNi<sub>3</sub> core-shell structures. Journal of Physics D: Applied Physics. № 43. V. 24. 2010. P. 245.
12. Acher O., Dubourg S. Generalization of Snoek's law to ferromagnetic film sand composites. Physical review B. № 77, V. 10. 2008. P. 104440.
13. Liu L., Duan Y., Ma L., Liu S., Yu Z. Microwave absorption properties of a wave-absorbing coating employing carbonyl-iron powder and carbon black. Applied Surface Science. № 257. V. 3. 2010. P. 842–846.

14. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-16-2016): матеріали XVI міжнар. наук.-техн. конф., 10–15 черв. 2016 р. / ред. : В.І. Водотівка, В.Б. Дудикевич, Ж.Е. Желкобаєв. – Одеса : ХНУ, 2016. – 221 с.
15. Привала, В.О. Розробка методики надання необхідної пористості сучасним плівковим матеріалам / В.О. Привала, А. А. Мичко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – С. 109–111.
16. Скрипник В.М. Розрахунок структури поля в області взаємодії з текстильним матеріалом усередині хвилеводного елемента / В.М. Скрипник, В.В. Яковлев, В.В. Комаров, В.О. Привала // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 1. – С. 147–151.
17. Привала В.О. Теоретичне обґрунтування розробки мікрохвильової технології очищення вовняної пряжі в умовах текстильних підприємств / В.О. Привала, О.С. Засорнов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 6. – С.115–119.
18. Ушакова Н.Ф. Опыт применения СВЧ-энергии при производстве пищевых продуктов / Н.Ф. Ушакова, Т.С. Копылова, В.В. Касаткина, А.Г. Кудряшова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 10. – С. 30–32.

#### References

1. Vovniiana promyslovist Ukrainy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ukrkniga.org.ua/ukrkniga-text/842/17>.
2. Orlov V.V. Perspektivy primeneniya mikrovolnoy obrabotki zhidkih pishhevyykh produktov / V.V. Orlov, A.S. Alforyov // NIUITMO. Seriya «Processy i apparaty pishhevyykh proizvodstv». – 2006. – № 2. – С. 53–57.
3. Vlasov V.V. Fizika i tehnika sverhvysochastotnogo diapazona elektromagnitnykh kolebanij : navch. posibn. / Vlasov V.V. – Harkiv : HNU imeni V.N. Karazina, 2011. – 169 s.
4. Tehnika sverhvysochastotnykh chastot : [uchebnoe posobie dlya vuzov ; pod red. N.P. Sobenina]. – 2-e izdanie, pererab. i dop. – M. : Energoatomizdat, 2007. – 543 s.
5. Danilin A.A. Izmereniya v tehnike SVCh : uchebnoe posobie dlya vuzov / Danilin A.A. – M. : Radiotekhnika, 2008. – 184 s.
6. Neganov V.A. Ustrojstva SVCh i anteny: Proektirovanie, konstruktivnaya realizaciya, primery primeneniya ustrojstv SVCh / Neganov V.A., Klyuev D.S., Tabakov D.P. – Moskva : Izd. Stereotip, 2020. – 608 s.
7. Suhodolec L. G. Moshnye vakuumnye SVCh-pribory : uchebnoe posobie po izucheniyu EVP SVCh / Suhodolec L. G. – Moskva : Ikar, 2014. – 72 s.
8. Molodcova M.A. Vozmozhnosti i perspektivy ispolzovaniya mikrovolnovogo izlucheniya v promyshlennosti / Molodcova M.A., Sevastyanova Yu.V. – H. : Lecn.zhurn.. – 2017. – № 2. – С. 82–83.
9. Baranov A.V. Vzaimodopolnyayushie priemy proektirovaniya trehtocheynykh SVCh-avtogeneratorov / A.V. Baranov, A.L. Kozikov // Elektronnyaya tehnika. Seriya 1: SVCh-tehnika / Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie "Istok" imeni A.I. Shokina. – 2018. – № 3. – С. 75–82.
10. Imenokhoyev I., Matthes A., Walter G. Numerical 3D-FEM-Simulation made by COMSOL Multiphysics of a Microwave Assisted Cleaning System for a Diesel Sooty Particle Filter and its Experimental Validation. In Proceeding Book, International COMSOL Multiphysics Conference, Ludwigsburg 2011, October 26–28.
11. Yan S. J., Zhen L., Xu C. Y., Jiang J. T., Shao W. Z. Microwave absorption properties of FeNi<sub>3</sub> submicrometre spheres and SiO<sub>2</sub> FeNi<sub>3</sub> core-shell structures. Journal of Physics D: Applied Physics. № 43. V. 24. 2010. P. 245.
12. Acher O., Dubourg S. Generalization of Snoek's law to ferromagnetic film sand composites. Physical review B. № 77, V. 10. 2008. P. 104–440.
13. Liu L., Duan Y., Ma L., Liu S., Yu Z. Microwave absorption properties of a wave-absorbing coating employing carbonyl-iron powder and carbon black. Applied Surface Science. № 257. V. 3. 2010. R. 842–846.
14. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh (VOTTP-16-2016) : materialy XVI mizhnar. nauk.-tekh. konf., 10–15 cherv. 2016 r. / red. : V.I. Vodotivka, V.B. Dudykevych, Zh.E. Zhelkobaev. – Odessa : KhNU, 2016. – 221 s.
15. Pryvala V.O. Rozrobka metodyky nadання neobkhdnoi porystosti suchasnym plivkovym materialam / V.O. Pryvala, A. A. Mychko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2009. – № 3. – С. 109–111.
16. Skrypnyk V.M. Rozrakhunok struktury polia v oblasti vzaiemodii z tekstylnym materialom useredyni khvylevodnogo elementa / V.M. Skrypnyk, V.V. Yakovliev, V.V. Komarov, V.O. Pryvala // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 1998. – № 1. – С. 147–151.
17. Pryvala V.O. Teoretychne obgruntuvannya rozrobky mikrokhvylivoi tekhnolohii ochyshchennia vovnyanoi priazhi v umovakh tekstylnykh pidpriemstv / V.O. Pryvala, O.S. Zasnornov // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2015. – № 6. – С.115–119.
18. Ushakova N.F. Opyt primeneniya SVCh-energii pri proizvodstve pishhevyykh produktov / N.F. Ushakova, T.S. Kopylova, V.V. Kasatkina, A.G. Kudryashova // Pishhevaya promyshlennost. – 2013. – № 10. – С. 30–32.

Рецензія/Peer review : 25.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 03.11.2020 р.

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, О.З. КОЛИСКО,  
Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ, М.І. ШОЛУДЬКО, Г.В. МЕЛЬНИК  
Київський національний університет технологій та дизайну

## АЛГОРИТМІЧНІ ТА ПРОГРАМНІ КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНОГО ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ ДЛЯ ШАЙБОВОГО НАТЯГУВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКУРСІЇ

На основі реалізації алгоритму рекурсії розроблені модулі комп'ютерної програми для визначення натягу нитки в робочій зоні трикотажної машини у випадку використання шайбового натягувача. Представлені основні форми комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль в робочій зоні трикотажної машини для випадку, коли у якості натягувача нитки використовується шайбовий натягувач. Представлені програмні модулі програми для визначення технологічних зусиль в робочій зоні на круглих трикотажних машинах з урахуванням діаметру перетину нитки, її фізико-механічних властивостей для широкого спектру комплексних ниток та пряжі. Програмними модулями передбачена можливість завдання закону зміни діаметру перетину нитки у вигляді гармонічної функції або довільній функції користувача з використанням зворотних польських записів у вигляді транслятора.

Ключові слова: комп'ютерна програма, алгоритм рекурсії, програмні модулі, нитка, шайбовий натягувач нитки, транслятор.

V. YU. SHCHERBAN, O. Z. KOLISKO, Y. YU. SHCHERBAN, M. I. SHOLUDKO, G. V. MELNIK  
Kyiv National University of Technologies and Design

## ALGORITHMIC AND SOFTWARE COMPONENTS IN COMPUTER DETERMINATION OF TENSION FOR PULLEY TENSIONER USING RECURSION

Based on the implementation of the recursion algorithm, computer program modules have been developed to determine the thread tension in the working area of the knitting machine in the case of using a washer tensioner. The main forms of the computer program for the implementation of the recursion algorithm for determining the technological effort in the working area of the knitting machine for the case when the washer tensioner is used as a thread tensioner. The program modules of the program for determination of technological efforts in a working zone on round knitting machines taking into account diameter of section of a thread, its physical and mechanical properties for a wide range of complex threads and yarns are presented. The software modules provide the possibility of setting the law of changing the diameter of the thread in the form of a harmonic function or an arbitrary function of the user using inverse Polish records in the form of a translator. Simple circular knitting machines are associated with the elimination of thread breakage. This negatively affects the performance of circular knitting machines, reduces the quality of knitted fabrics. The main parameter for optimizing the thread feed system on circular knitting machines is the minimum required tension in the area of formation of the knitted fabric. The breakage of the threads during processing on the process equipment is due to the imperfection of the thread feeding system on circular knitting machines and its components. The largest number of breaks falls on the area of the washers of the thread tensioning devices. Studies of the influence of the design of the washer device of the thread tension on the conditions of its interaction with the thread, taking into account its non-uniformity in the diameter of the cross section are important in determining the thread tension in the working area. The thread tension increases when passing through the refueling zones of the thread feed system on circular knitting machines. This increase is due to the interaction of the thread with the washers for tensioning. The maximum value of tension will be in front of the working area of circular knitting machines. Minimizing the tension in front of the working area of circular knitting machines is important for improving the technological processes of knitting from the standpoint of improving the productivity of circular knitting machines and the quality of products. Thus, the topic of this article is relevant, which is important for improving the system of thread feed on circular knitting machines, the design of existing thread tensioning devices and the development of new ones. Development of special computer programs for determining the tension in the working area of the formation of knitted fabrics on circular knitting machines allows you to quickly determine the necessary technological parameters, adjust both the structure and components of the thread feed system on circular knitting machines to obtain the minimum required tension in the working area of the formation of knitted fabrics. Objects and methods of research. Thread washers are an integral part of the thread feed system of circular knitting machines. The imperfection of the design of the thread tension washers on circular knitting machines leads to fluctuations in the thread tension during its processing and violation of the technological regime. The theoretical basis for solving scientific and technical problems are the works of leading scientists in the fields of technology of textile and knitwear production, textile materials science, thread mechanics, elasticity theory, mathematical modelling. Methods of theoretical mechanics, resistance of materials, experimental planning and statistical processing of research results were used in theoretical and experimental researches.

Keywords: computer program, recursion algorithm, software modules, thread, thread washer, translator.

### Вступ

**Актуальність.** Прості круглов'язальних машин пов'язані з ліквідацією обриву нитки [3, 4]. Це негативно впливає на продуктивність круглов'язальних машин, зменшує якість трикотажних полотен [3]. Головним параметром оптимізації системи подачі ниток на круглов'язальних машинах є мінімально необхідний натяг в зоні формування трикотажного полотна [7–12]. Обривність ниток при переробці на технологічному устаткуванні пов'язана з недосконалістю системи подачі нитки на круглов'язальних машинах і її складових елементів [3]. Найбільше число обривів випадає на зону розташування шайбових пристроїв натягу нитки [11, 12]. Дослідження впливу конструкції шайбового пристрою натягу нитки на умови його взаємодії з ниткою з урахуванням її нерівномірності по діаметру поперечного перетину мають важливе значення при визначенні натягу нитки в робочій зоні [3, 9]. Натяг нитки збільшується під час переходу зонами заправки системи подачі нитки на круглов'язальних машинах. Це збільшення обумовлено взаємодією нитки з шайбовими пристроями для натягу [3]. Максимального значення натягу буде перед

робочою зоною круглов'язальних машин. Мінімізація натягу перед робочою зоною круглов'язальних машин має важливе значення для удосконалення технологічних процесів в'язання з позиції підвищення продуктивності круглов'язальних машин та якості продукції, що випускається. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення системи подачі ниток на круглов'язальних машинах, конструкції існуючих пристроїв натягу нитки та розробки нових [5–10].

Розробка спеціальних комп'ютерних програм [1, 2] для визначення натягу в робочій зоні формування трикотажних полотен на круглов'язальних машинах дозволяє оперативного визначати необхідні технологічні параметри, провадити корегування як самої структури, так і складових компонентів системи подачі нитки на круглов'язальних машинах для отримання мінімально необхідного натягу в робочій зоні формування трикотажних полотен [3, 4–11].

**Об'єкти і методи дослідження.** Складовою частиною системи подачі нитки круглов'язальних машин є шайбові пристрої натягу нитки. Недосконалість конструкції шайбових пристроїв натягу нитки на круглов'язальних машинах призводить до коливання натягу нитки в процесі її переробки та порушення технологічного режиму. Теоретичною основою в ході вирішення науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництва, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних та експериментальних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

### Постановка завдання

На основі реалізації алгоритму рекурсії розробити модулі комп'ютерної програми для визначення технологічних зусиль в робочій зоні на круглих трикотажних машинах з урахуванням діаметру перетину нитки, її фізико-механічних властивостей для широкого спектру комплексних ниток та пряжі.

### Основна частина

На рис. 1, а представлені структурні схеми лінії заправки нитки, де 1 позначена схема заправки з конструкцією утримувача бобін у вигляді парасольки, а 2 позначена схема заправки з утримувачем бобін, розташованим на підлозі. Аналіз структурної схеми лінії заправки нитки показує її дуже складну конфігурацію як у площині, так і у просторі габаритних розмірів трикотажної машини. В точках зламів лінії заправки має місце взаємодія нитки з направляючими отворами спрямовувачів нитки, шайбовими пристроями (рис. 1, б) для натягу нитки.

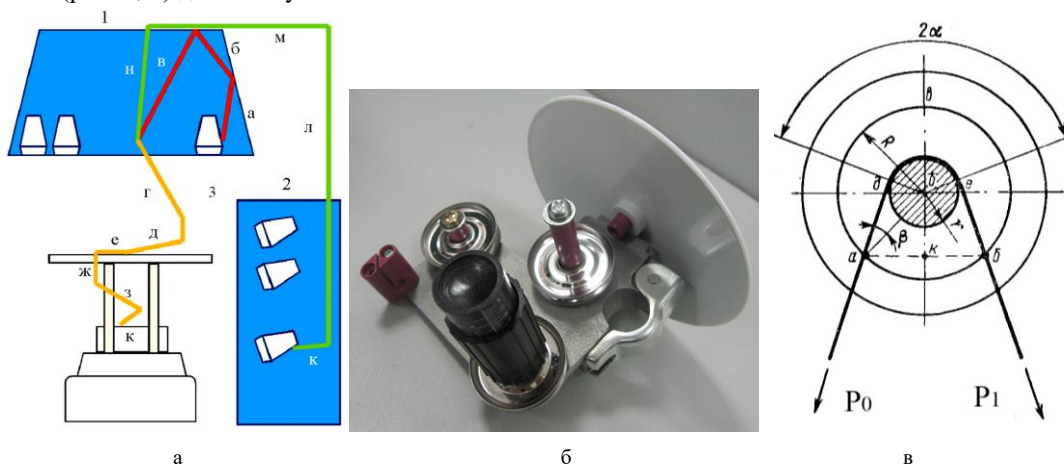


Рис. 1. Структурні та розрахункові схеми:

а – структурні схеми лінії заправки нитки на круглов'язальній машині;  
б – шайбовий пристрій для натягу нитки; в – схема для розрахунку натягу шайбового пристрою

На рис. 1в представлена розрахункова схема шайбового пристрою для натягу нитки. Визначимо значення вихідного натягу нитки  $P_1$ . При цьому будемо рахувати вхідний натяг нитки  $P_0$  незмінним. Зростання натягу нитки відбувається за рахунок контакту (рис. 1в) нитки з верхньою та нижньою шайбами в точках  $a, b$  та контактом нитки з направляючим стрижнем по дузі  $de$ . За рахунок сил тертя в зонах контакту буде відбуватися зростання натягу. Розглядаючи рівновагу верхньої шайби, використовуючи основні рівняння статички для просторової паралельної системи сил, визначимо значення нормального тиску в точці  $a$ , який буде дорівнювати нормальному тиску в точці  $b$ :

$$Ok = R \sin(\beta - \alpha), \quad \sin \beta = \frac{r}{R}, \quad p_a = p_b = \frac{0,5NR}{Ok + R}, \quad N = c(\lambda + d_n), \quad (1)$$

де  $R$  – радіус кола контакту між верхньою та нижньою шайбами;  $\alpha$  – половина кута охоплення ниткою циліндричного направляючого стрижня;  $r$  – радіус циліндричного направляючого стрижня;  $p_a, p_b$  –

нормальний тиск в точках  $a, b$ ;  $N$  – сила нормального тиску пружини на верхню шайбу;  $c$  – коефіцієнт жорсткості пружини;  $\lambda$  – необхідна деформація пружини для забезпечення відповідної сили тертя. Необхідно зазначити, що у виразі (1) необхідно враховувати деформацію поперечного перетину нитки в точках  $a, b$  з урахуванням ширини площини контакту, модуля пружності нитки на зминання. Але в умовах нашої задачі цим можна знехтувати і використовувати безпосередньо величину поперечного перетину  $r_H$ . Остаточоно отримуємо формулу для визначення вихідного натягу нитки  $P_1$ :

$$P_1 = P_0 \left[ 1 - \frac{r + r_H}{r} (1 - e^{2\mu_2 \alpha}) \right] + \frac{\mu_1 c (\lambda + d_H) \left[ 2 - \frac{r + r_H}{r} (1 - e^{2\mu_2 \alpha}) \right]}{1 + \sin(\alpha - \beta)} \quad (2)$$

де  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя між поверхнями верхньої та нижньої шайб та ниткою;  $\mu_2$  – коефіцієнт тертя між поверхнею циліндричного напрямного стрижня та ниткою.

Залежність (2) використовувалася під час розробки комп'ютерної програми. Розрахунки проводили для бавовняної пряжі 27,6 текс. На рис. 2, а представлений модуль unit Unit3 для розрахунку параметрів бавовняної пряжі. На наступному етапі обирається тип пристрою для натягу нитки на круглов'язальній машині (рис. 2, б – модуль unit Unit2).

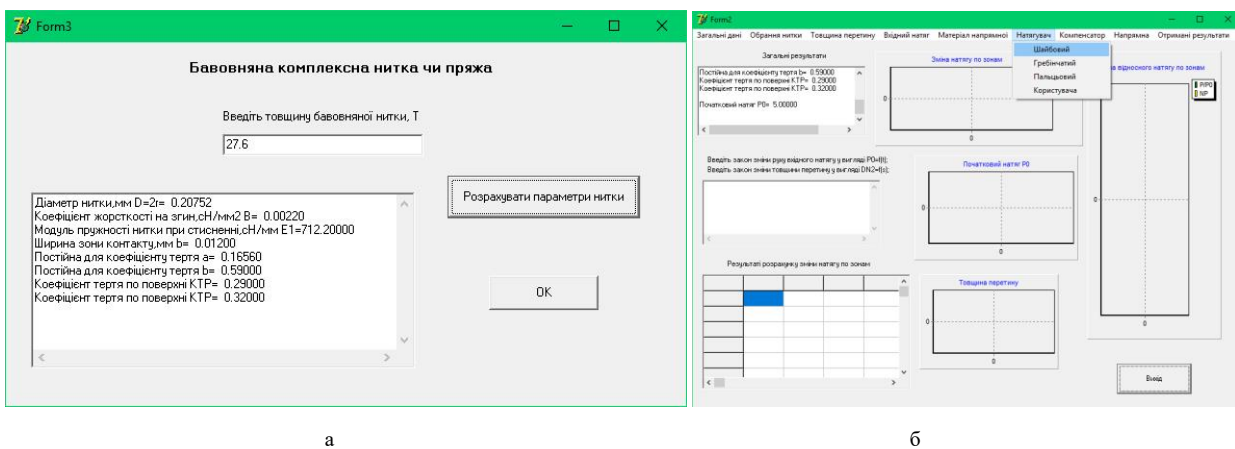


Рис. 2. Модулі ком'ютерної програми для визначення натягу в робочій зоні

На рис. 3, а представлена форма комп'ютерного модуля unit Unit12 для шайбового пристрою для розрахунку натягу. На рис. 3, б представлений фрагмент програмного коду. Необхідні конструктивні параметри вказуються у відповідних вікнах Edit1: TEdit, Edit2: TEdit, Edit3: TEdit, Edit4: TEdit.

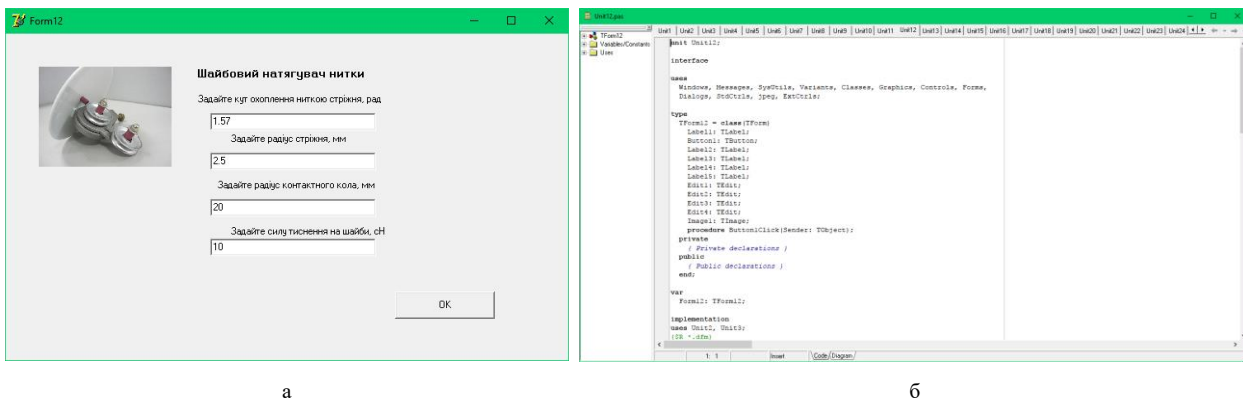


Рис. 3. Комп'ютерний модуль unit Unit12 для шайбового пристрою для розрахунку натягу

На рис. 4 представлені розрахунки натягу бавовняної пряжі 27,6 текс на круглов'язальній машині для випадку двох зон з шайбовими пристроями для натягу нитки. Початковий натяг приймався рівним 5 сН. Кут охоплення ниткою стрижня в першій зоні дорівнював 1.57 рад., діаметр стрижня дорівнював 2.5 мм, радіус контактного кола дорівнював 20 мм, сила тиснення на шайби – 10 сН. Для другої зони кут охоплення ниткою стрижня в другій зоні дорівнював 3.14 рад., сила тиснення на шайби – 8 сН. Аналіз отриманих результатів показав, що натяг зростає від першої до другої зони. На окремій діаграмі представлені результати зміни відносного натягу в зонах.

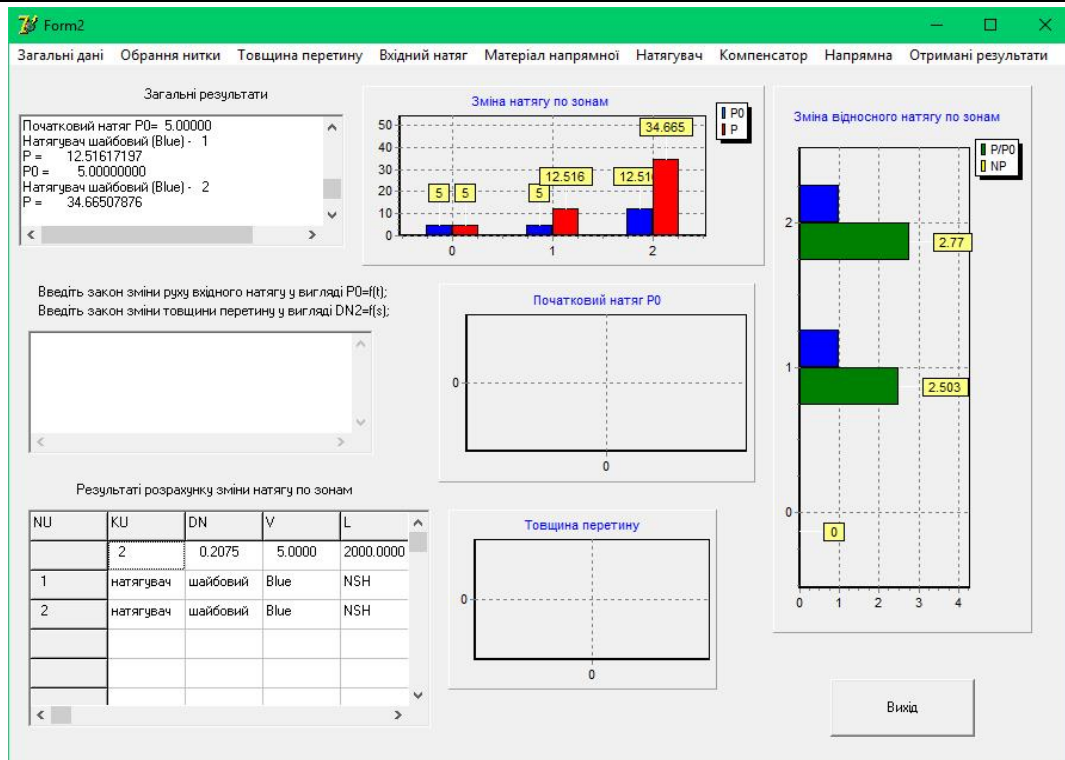


Рис. 4. Результати розрахунку натягу нитки в робочій зоні круглов'язальної машини

### Висновки

На основі реалізації алгоритму рекурсії розроблені модулі комп'ютерної програми для визначення натягу нитки в робочій зоні трикотажної машини у випадку використання шайбового натягувача. Представлені основні форми комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль в робочій зоні трикотажної машини для випадку, коли у якості натягувача нитки використовується шайбовий натягувач. Представлені програмні модулі програми для визначення технологічних зусиль в робочій зоні на круглих трикотажних машинах з урахуванням діаметру перетину нитки, її фізико-механічних властивостей для широкого спектру комплексних ниток та пряжі. Програмними модулями передбачена можливість завдання закону зміни діаметру перетину нитки у вигляді гармонічної функції або довільної функції користувача з використанням зворотних польських записів у вигляді транслятора.

### Література

1. Свідоцтво № 89242 про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма для реалізації чисельних методів / Щербань В.Ю., Колиско О.З., Макаренко Ю.В., Мельник Г.В., Петко А.К., Шолудько М.І., Калашник В.Ю. – Дата реєстрації 03.06.2019 р.
2. Свідоцтво № 89243 про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програмний комплекс для визначення оптимальної траєкторії нитки на трикотажних машинах / Щербань В.Ю., Колиско О.З., Макаренко Ю.В., Мельник Г.В., Петко А.К., Шолудько М.І., Калашник В.Ю. – Дата реєстрації 03.06.2019 р.
3. Комп'ютерне проектування систем: програмні та алгоритмічні компоненти / [В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, Г.В. Мельник та ін.]. – К. : Освіта України, 2019. – 902 с.
4. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 225(3). – С. 30–33.
5. 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.
6. Математичні моделі в САПР. Обрані розділи та приклади застосування / В.Ю. Щербань, С.М. Красницький, В.Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.
7. Scherban V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
8. 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.
9. 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. – P. 22–26.

10. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів 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.

11. 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. – P. 18–23.

12. 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. – P. 23–27.

#### References

1. Svidotstvo № 89242 pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir. Kompiuterna prohrama dlia realizatsii chyselnykh metodiv / Shcherban V.Iu., Kolysko O.Z., Makarenko Yu.V., Melnyk H.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnyk V.Iu. – Data reiestratsii 03.06.2019 r.

2. Svidotstvo № 89243 pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir. Kompiuterna prohrama «Prohramnyi kompleks dlia vyznachennia optymalnoi traektorii nytky na trykotazhnykh mashynakh / Shcherban V.Iu., Kolysko O.Z., Makarenko Yu.V., Melnyk H.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnyk V.Iu. – Data reiestratsii 03.06.2019 r.

3. Kompiuterne proektuvannia system: prohramni ta alhorytmichni komponenty / [V.Iu. Shcherban, O.Z. Kolysko, H.V. Melnyk ta in.]. – K. : Osvita Ukrainy, 2019. – 902 s.

4. Shcherban V.Iu. Optymizatsiia protsesu vzaiemodii nytky z napriamnymy z urakhuvanniam anizotropii fryktsiinykh vlastyvoستي / V.Iu. Shcherban, M.I. Sholudko, O.Z. Kolysko, V.Iu. Kalashnyk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2015. – № 225(3). – S. 30–33.

5. Shcherban V.Iu. Doslidzhennia vplyvu materialu nytky i anizotropii tertia na yii natiah i formu osi / V.Iu. Shcherban, V.Iu. Kalashnyk, O.Z. Kolysko, M.I. Sholudko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2015. – № 223(2). – S. 25–29.

6. Matematychni modeli v SAPR. Obrani rozdily ta pryklady zastosuvannia / V.Iu. Shcherban, S.M. Krasnytskyi, V.H. Rezanova. – K. : KNUVD, 2011. – 220 s.

7. Scherban V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.

8. Shcherban V.Iu. Efektyvnist roboty kompensatoriv natiahu nytky trykotazhnykh mashyn / V.Iu. Shcherban, N.I. Murza, A.M. Kyrychenko, M.I. Sholudko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2017. – № 1(245). – S. 83–86.

9. 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. – P. 22–26.

10. Shcherban V.Iu. Porivnialnyi analiz roboty nytkonatihuvachiv tekstylnykh mashyn / V.Iu. Shcherban, N.I. Murza, A.M. Kyrychenko, M.I. Sholudko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2016. – № 6(243). – S. 18–21.

11. 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. – P. 18–23.

12. 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. – Vol. 5.– Number 3. – P. 23–27.

Рецензія/Peer review : 18.09.2020 р.

Надрукована/Printed :04.11.2020 р.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

**Повні вимоги до оформлення рукопису**  
<http://journals.khnu.km.ua/vestnik/support.htm>



Підп. до друку 29.10.2020. Ум. друк. арк. 36,51. Обл.-вид. арк. 34,74.

Формат 30×42/4, папір офсетний. Друк різнографією.

Наклад 100, зам. № 195/20

Тиражування здійснено з оригінал-макета, виготовленого редакцією журналу «Вісник Хмельницького національного університету» редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету. 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1, тел. (0382) 67-51-08; 77-33-63. Свідоцтво про внесення в Державний реєстр, серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.