

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2021

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2021, Issue 2, Volume 295

Хмельницький

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

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

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2021, № 2(295)

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

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221
CrossRef	http://doi.org/10.31891/2307-5732

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н., Говорущенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Защепкіна Н.М., д.т.н., Захаркевич О.В., д.т.н., Злотенко Б.М., д.т.н., Зубков А.М., д.т.н., Каплун П.В., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Любош Хес, д.т.н., (Чехія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Місяць В.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Параска О.А., к.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Харжевський В.О., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н., професор, Бубуліс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчинські Томаш, доктор наук (Польща), Коробко Євгенія Вікторівна, д.т.н. (Білорусія), Лунтовський Андрій Олегович, д.т.н. (Німеччина), Любош Хес, доктор наук (Польща), Матушевський Мацей, доктор наук (Польща), Мушлевський Лукаш, доктор наук (Польща), Мушял Януш, доктор наук (Польща), Натрішвілі 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 № 17 від 27.05.2021 р.**

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

	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@khmnu.edu.ua		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm
	visnyk.khnu@gmail.com		

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

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

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ

Г.Д. КОБИЩАН, Ю.О. БАСОВА, Л.М. ГУБА, А.С. ТКАЧЕНКО ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ Й СЕРТИФІКАЦІЇ МИЙНИХ ЗАСОБІВ	7
Ю.С. СОКОЛАН, Л.В. КУЧЕРЕНКО АНАЛІЗ ДОСВІДУ ПЛАНУВАННЯ СИСТЕМИ БЛАГОУСТРОЮ ЖИТЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ	17
РОМАН КАМІНСЬКИЙ, НАТАЛІЯ ШАХОВСЬКА, БОГДАН ХУДОБА ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТЕКСТІВ РІЗНИХ СТИЛІВ, ПОДАНИХ ЦІЛОЧИСЕЛЬНИМИ ЕКВІДИСТАНТНИМИ ПОСЛІДОВНОСТЯМИ КІЛЬКОСТІ ЛІТЕР У СЛОВАХ	26

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

І.З. МАНУЛЯК, С.І. МЕЛЬНИЧУК, С.П. ВАЩИШАК, С.М. РУДАК РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ КОВЗНОЇ МЕДІАНИ НА ПЛІС ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ	35
Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО, С.Г. НАТРОШВІЛІ, Т.І. КУЛІК, С.А. ДЕМІШОНКОВА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИМІЩЕНЬ	40
Т.В. СІЧКО МЕТОД РАНЖУВАННЯ НА ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВИХ САЙТАХ	45
О.В. БАРМАК, П.М. РАДЮК ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІЗУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ РЕНГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПНЕВМОНІЇ	52
С.Т. БАРАСЬ, Л.В. КРУПЕЛЬНИЦЬКИЙ, О.В. ОНИЩУК ВИМІРЮВАННЯ ОПОРНОЇ ЧАСТОТИ ВУЗЬКОСМУГОВОГО РАДІОСИГНАЛУ ОБМЕЖЕНОЇ ТРИВАЛОСТІ	56
В.С. ЯКОВИНА, Б.В. УГРИНОВСЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОРИСТУВАЦЬКИХ ДОДАТКІВ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID В КОНТЕКСТІ ЯВИЩА СТАРІННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	64
І.А. КОТОВ АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОТИАВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ НА ОСНОВІ ЛОГІКО-ІМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОДУКЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ ПЕТРІ	71
В.Г. КРАСИЛЕНКО, Н.П. ЮРЧУК, Д.В. НІКІТОВИЧ ЗАСТОСУВАННЯ ІЗОМОРФНИХ МАТРИЧНИХ ПРЕДСТАВЛЕНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОКОЛУ УЗГОДЖЕННЯ СЕКРЕТНИХ КЛЮЧІВ-ПЕРЕСТАНОВОК ЗНАЧНОЇ РОЗМІРНОСТІ ...	78
П.Г. РЕГІДА, І.А. КОМІСАРОВ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ПЛАНУВАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ БУЛЬБАШКОВОГО РОЗПОДІЛУ В РІЗНИХ ТОПОЛОГІЯХ	89
К.Р. СЕНІВА СПОСОБИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ	97
Ю.П. КРИВЕНЧУК, О.І. ГРИЦИК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИБОРУ МАЙБУТНЬОЇ ПРОФЕСІЇ	101

Ю. П. КРИВЕНЧУК, С.В. ГЕЛЕТІЙ КОНЦЕПЦІЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕКСТУ В БІТОВУ КАРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ БУДЬ-ЯКОГО ШРИФТУ	105
--	-----

Т.В. РОМАНЕНКО, Н.Г. РУСІНА ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ	109
--	-----

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

М.Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ, І.В. ПАНАСЮК ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО МОМЕНТУ ОПОРУ ВЕДУЧОГО ВАЛУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ, СТВОРЕНОГО МАСОЮ СИПКОГО СЕРЕДОВИЩА У РОБОЧІЙ ЄМКОСТІ	116
--	-----

О.О. ЯЛИНА ДІАГНОСТИКА І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ	123
--	-----

В.Ю. ЯНІШЕВСЬКИЙ УНІВЕРСАЛЬНИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРИВІД ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	127
--	-----

М. І. СТАДНІК, А. А. ВИДМИШ, С. А. ШАРГОРОДСЬКИЙ, В. С. РУТКЕВИЧ САМООЧИСНИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ЗАМКНУТИХ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ	130
---	-----

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

М.С. СКИБА, О.В. МІСЯЦЬ, А.О. ПОЛІЩУК, В.П. МІСЯЦЬ, М.М. РУБАНКА СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННОГО ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИВОДУ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ	139
--	-----

О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, Ю.В. КИРИЧУК, Н.М. НАЗАРЕНКО, А.Г. ТКАЧУК АВТОМАТИЗОВАНИЙ ДВОКАНАЛЬНИЙ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГРАВІМЕТР АГС	147
---	-----

Г.І. БАРИЛО, І.І. ГЕЛЬЖИНСЬКИЙ, Р.Л. ГОЛЯКА, Т.А. МАРУСЕНКОВА, М.О. ХІЛЬЧУК ВБУДОВАНА СИСТЕМА КОНВЕРТЕРА НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СВІТЛОДІОДІВ	151
---	-----

О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК ДОСЛІДЖЕННЯ СЕНСОРА ТЕМПЕРАТУРИ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ НА ОСНОВІ КВАНТОВОЇ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ	156
---	-----

О.Ю. КІМСТАЧ, І.М. ІЛЛЯШЕНКО, А.О. ЖЕЖЕЛО МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА З УРАХУВАННЯМ АСИМЕТРІЇ МАГНІТОПРОВОДУ	165
--	-----

О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, М.В. ІЛЬЧЕНКО, С.С. КОТЛЯР КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИЛАДОВИХ КОМПЛЕКСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ	172
--	-----

О.Я. ВОЛОШАНІЮК, О.В. НЕЧИПОРЕНКО ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕДУКЦІЙНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРАЦЮЮЧИХ НА БАЗІ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	176
---	-----

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

М.В. ВАСИЛЬСВ, А.І. БРУНЕТКІН НАЛАШТУВАННЯ НЕЧІТКОГО АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗРІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ	187
--	-----

Ю.П. ЗАСПА

НЕЛІНІЙНА КОНТАКТНА ДИНАМІКА ТА АНТИСИМЕТРИЯ КОРПУСКУЛЯРНО-ВИХОР-ХВИЛЬОВИХ ФОРМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ТА ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛІВ У ФОНОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ КОМПЛЕКСНОГО ЕВКЛІДОВОГО ПРОСТОРУ. СПЕКТРИ ХІТОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	193
---	-----

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В.КАРПОВА, А.І. ПОВХ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗАБУДОВИ МІСТА	206
--	-----

А.Е. RUBANENKO, О.О. RUBANENKO, І.А. HUNKO, V.V. GASYCH

DETERMINATION OF RESIDUAL RESOURCE OF MEASURING CURRENT TRANSFORMERS USING FUZZY SIMULATION	214
---	-----

О.О. РУБАНЕНКО, І.О. ГУНЬКО, В.В. ГАСИЧ, Д.О. ГРЕСЬКОВ, В.А. ПРЯДКО

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	220
---	-----

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**І.О. ЗАСОРНОВА, О.С. ЗАСОРНОВ, Г.А. РІПКА**

РОЗРОБКА КЛАСИФІКАТОРУ ЗАСТОСУВАННЯ QR-КОДІВ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	226
---	-----

І.Т. СОЛТИК

ПРИНЦИПИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВКЛАДНИХ УСТІЛОК ІЗ ПІДІГРОМ ДЛЯ УТЕПЛЕНОГО ВЗУТТЯ ..	234
---	-----

А.В. АНТОНЕНКО, Т.В. БРОВЕНКО, О.В. ВАСИЛЕНКО,

Ю.В. ЗЕМЛІНА, Г.А. ТОЛОК, І.М. ГРИЩЕНКО ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ У ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНИХ ЗАКУСОК	239
---	-----

О.О. КОРОТИЧ, В.С. НЕЙМАК, А.М. ЗАЛІЗЕЦЬКИЙ, Н.М. ЗАЩЕПКИНА

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ ВІТРИНИ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ	245
---	-----

А.Л. СЛАВІНСЬКА, В.В. МИЦА

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АСПЕКТ ГРУПУВАННЯ УНІФІКОВАНИХ ФОРМ РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА МОДЕЛЬ ВИРОБНИЧОГО ОДЯГУ	254
---	-----

О.Г. СОКОЛОВСЬКА, Л.О. ВАЛЕВСЬКА

ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА КІНОА – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ	259
--	-----

О.Л. ТКАЧУК

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДВАРЮВАННЯ КОТОНІНОВІСНОЇ ТКАНИНИ	264
--	-----

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, А.К. ПЕТКО, О.З. КОЛИСКО, Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ, Л.Є. ГАЛАВСЬКА
ПРОГРАМНІ МОДУЛІ ТА ПРОЦЕДУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ КЕВЛАРОВОЇ НИТКИ ПРИ В'ЯЗАННІ З

ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ	271
--	-----

**МАШИНОБУДУВАННЯ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ****Б.С. БРАЦЛАВЕЦЬ**

РОЗРОБКА МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗАГАРТОВАНИХ ГІЛІЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ	275
--	-----

В.І. БРЕДУН

АНАЛІЗ РЕГІОНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ

УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ 278

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**О. В. ОСАДЧУК, Л. В. КРИЛИК, Я. О. ОСАДЧУК, О. С. ЗВЯГІН**

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ ДЛЯ

ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ 282

ЕКОЛОГІЯ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-7-16

УДК 620.2:006.83:658.562: 661.185.6

Г.Д. КОБИЩАН, Ю.О. БАСОВА, Л.М. ГУБА, А.С. ТКАЧЕНКО

ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ Й
СЕРТИФІКАЦІЇ МИЙНИХ ЗАСОБІВ

У статті показано, що вітчизняна екологічна стандартизація та сертифікація порівняно із європейською має низку невирішених на сьогодні проблем. За результатами аналізу ринку встановлено значне використання несертифікованих мийних засобів, що відповідно несе низку негативних наслідків: руйнування водних екосистем, утворення відходів, фальсифікація продукції, необґрунтоване підвищення цін виробниками. Авторами вбачається можливість вирішення зазначених проблем шляхом екологічної сертифікації мийних засобів із відповідним маркуванням, адже це означає, що така продукція пройшла оцінювання компетентними фахівцями та відповідає встановленим вимогам.

Ключові слова: мийні засоби, стандартизація, сертифікація, засоби для чищення, екологічна безпека, маркування.

ANNA .D. KOBISCHAN, YULIA O. BASOVA, LYUDMILA N. GUBA, ALINA S. TKACHENKO

Poltava University of Economics and Trade

FEATURES OF ECOLOGICAL STANDARDIZATION AND CERTIFICATION OF DETERGENTS

The purpose of the article is a comprehensive analysis of issues related to the peculiarities of environmental standardization and certification of detergents. Particular attention is paid to the problems of eco-labeling of detergents in Ukraine.

The article shows that the domestic environmental standardization and certification in comparison with the European has a number of unresolved issues. According to the results of the market analysis, significant use of uncertified detergents has been established, which accordingly has a number of negative consequences: destruction of aquatic ecosystems, waste generation, product falsification, unjustified increase in producer prices. The authors see the possibility of solving these problems by environmental certification of detergents with appropriate labeling, because it means that such products have been evaluated by competent professionals and meet the established requirements. The paper considers the normative documents and stages of environmental certification of detergents, further supervision of certified products and compliance with the rules of environmental labeling. It is shown that the result of certification is an environmental certificate, which indicates the successful completion of environmental certification and gives the right to use eco-labeling in the format of statements about environmental benefits and characteristics in combination with the eco-label. The issue of vague statements, unfounded application of concepts that indicate a general environmental advantage, examples are given.

It is established that the regulatory framework of Ukraine for the regulation of product quality and safety management is not yet perfect. At the same time, a voluntary approach to the procedure of environmental standardization and certification can encourage unscrupulous producers to counterfeit products and pass them off as "eco" goods, while unreasonably raising prices.

Keywords: detergents, standardization, certification, cleaning products, environmental safety, labeling.

Постановка проблеми.

Фундаментом створення і функціонування єдиного світового ринку є вільне переміщення товарів і взаємне визнання результатів оцінки їх відповідності. У світовій торгівлі технічна гармонізація досягається наявністю в країні сучасної системи технічного регулювання, яка відповідає загальновизнаним міжнародним нормам і правилам СОТ та міжнародних організацій зі стандартизації – ISO, ІЕС та ін.

Система технічного регулювання, створена в країнах ЄС, є найбільш ефективною системою в світі, і розглядається як модель для міжнародного співробітництва. Україна, як європейська держава, орієнтується на політику технічного регулювання Європейського Союзу (ЄС). Тому реформа системи технічного регулювання в Україні має стратегічне значення для розвитку простору вільної торгівлі, загального з ЄС та іншими країнами світу. Гармонізація українського законодавства з європейським ставить задачу вітчизняним виробникам забезпечувати якість і безпеку продукції на внутрішньому ринку, а також можливість виводити свою продукцію на європейський і міжнародний ринки [1].

Низька конкурентоспроможність вітчизняного товаровиробника на міжнародному ринку – це проблема, що має багато причин (енергомісткість та неефективність виробництва, технологічне відставання і т. ін.) і яка, на жаль, остаточно не вирішена за часи незалежності України. Водночас, сьогодні світ переживає ще й загострення еколого-економічної кризи, що суттєво ускладнює зростання національної економіки та можливість конкурувати на міжнародних ринках. На часі недостатньо лише підвищити ефективність виробництва та якість продукції, їх слід розвивати через призму екологічності.

Слід наголосити, що проблеми екологічності стосуються не лише виробництва продукції, вони актуальні упродовж всього життєвого циклу товару, а отже проявляються у використанні ресурсів, виробництві, транспортуванні, при використанні продукту та його утилізації. На кожному з цих етапів можливо, наприклад, підвищити економію ресурсів, зменшити забруднення довкілля, запобігти кліматичним змінам тощо.

Екологічний фактор став пріоритетним у розвитку світової економіки ще минулого століття. В Україні еко-тенденції з'явилися не більше десяти років тому з появи на товарах таких написів, як «еко»,

«руйнується під впливом природних факторів», «органік», «придатний для вторинної переробки», «екологічно чистий», «натур», «біо», «екологічно безпечний продукт» та інші.

Системний підхід до вирішення екологічних питань в Україні почав реалізовуватися з 2003 року, коли згідно з вимогами ISO 14024 почала діяти Українська система екологічної сертифікації та маркування товарів і послуг, яка має за мету подальший розвиток критеріїв оцінки покращених екологічних характеристик товарів та послуг. Національну акредитацію та міжнародне визнання система отримала у 2010 році.

Сутність екологічного маркування товарів полягає в оцінюванні їх життєвого циклу відповідно до певних критеріїв. Критерії, що надають можливість комплексно оцінити зменшення впливу на довкілля в ході виготовлення та споживання продукції, встановлюються екологічними стандартами на окремі категорії товарів (послуг).

Подальшого підвищення екологічних характеристик можливо досягнути розроблянням, переглядом та зміною критеріїв для оцінювання. З цією метою для продукції певної категорії застосовують екодизайн, упроваджують екологічні інновації, ресурсозберігальні, маловідходні та більш чисті технології виробництва.

Станом на сьогодні, споживчий попит на екологічну продукцію на вітчизняному ринку залишається не задоволеним. Прикладом екологічно сертифікованої продукції, яка пропонується за доступною ціною, є мийні засоби, лакофарбові товари та окремі підгрупи будівельних товарів (наприклад, мінеральні в'язучі речовини та вироби з них, теплоізоляційні матеріали). Серед інших товарних груп вітчизняного виробництва пропозиція екологічних продуктів значно обмежена. На ринку представлено імпортні товари, переважно з Європи, які помітно дорожчі. Слід відмітити, що низька поінформованість суспільства щодо переваг сталого споживання та виробництва, особливо щодо правил застосування різних видів маркувань, є основним чинником, що стримує розвиток ринку екопродукції в Україні. Це стосується і споживачів, і виробників, і замовників [2].

В даній статті розглянемо стан, проблеми та шляхи подальшого розвитку питань екологічної сертифікації та екомаркування мийних засобів в Україні. З наукової точки зору, мийні засоби є найнебезпечнішими із усіх хімічних речовин, з якими споживач стикається у побуті. Кількість ПАР, фосфатів і багатьох інших компонентів у складі мийних засобів має жорстко контролюватися, оскільки при перевищенні дозування організму людини може бути завдано істотної шкоди. Тому останнім часом зростає попит на продукцію із поліпшеними екологічними характеристиками [1, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженню питань розвитку екологічних стандартів та сертифікацій, системи їх регулювання та гармонізації в цілому присвячено праці таких провідних науковців, як С. Вознюк, Л. Валага, О. Нагорна, П. Скрипчук, Н. Боровець, Б. Оксентюк та ін. Серед вітчизняних вчених, що перші почали і системно продовжують вивчати питання екомаркування споживчих товарів слід назвати, таких як Б.Д. Семак, І. Галик, Б.Б. Семак, Є. Гордійчук, І. Данилюк.

Формулювання цілей статті.

Мета статті полягає у всебічному аналізі питань, пов'язаних із особливостями екологічної стандартизації й сертифікації мийних засобів. Особливу увагу планується надати проблемам екомаркування мийних засобів в Україні.

Виклад основного матеріалу.

Лібералізація торговельного режиму України та відкриття нових можливостей для розвитку експортного потенціалу вітчизняних хімічних підприємств стали можливими в результаті підписання Угоди про асоціацію з ЄС. Імпорт українських хімічних товарів на ринки ЄС відбувається за низькими тарифними ставками. Загальне ввізне мито для української хімічної продукції в ЄС, згідно з [4], становить 5–6,5 % від митної вартості, при цьому поступово знижується і в перспективі має бути відмінене.

Важливо відмітити, що обсяги експорту продукції української хімічної промисловості, яка в минулому характеризувалась як експортоорієнтована галузь, за останні роки поступово зменшуються. Так, результати аналізу даних за товарною позицією УКТЗЕД 3402 «Поверхнево-активні речовини, засоби для прання, миття та чищення» на офіційному порталі Державної фіскальної служби України [5] показали, що за період 2015–2019 рр. сальдо торговельного балансу продукції залишалося від'ємним, що говорить про перевищення імпорту над експортом за даною позицією (табл. 1).

Таблиця 1

Сумарний обсяг імпорту та експорту поверхнево-активних речовин, засобів для прання, миття та чищення за 2015–2019 рр. (товарна позиція за кодами УКТЗЕД 3402), (тисяч доларів США)

Рік	Імпорт			Експорт		
	вартість	питома вага, %	вага нетто, т	вартість	питома вага, %	вага нетто, т
2015	155761	0,43	122683	33424	0,09	33063
2016	171939	0,44	143041	18356	0,05	19321
2017	189411	0,38	146058	20169	0,05	20997
2018	212223	0,37	146395	16984	0,04	17443
2019	197449	0,36	130393	12284	0,03	10256

*Побудовано авторами за [5]

Обсяги імпорту поверхнево-активних речовин, засобів для прання, миття та чищення зросли за п'ять років як в натуральному, так і у вартісному вираженні на 7710 т, або 41688 тисяч доларів США відповідно. При цьому частка даної продукції в загальних обсягах вітчизняного імпорту скоротилася на 0,7 %.

Негативною тенденцією є суттєве скорочення обсягів експорту за даною позицією. Так, у 2019 році проти 2015 року на експорт вітчизняними підприємствами відправлено на 22807 т менше поверхнево-активних речовин, засобів для прання, миття та чищення. Частка даної продукції у загальних обсягах вітчизняного експорту зменшилася утричі (рис. 1).

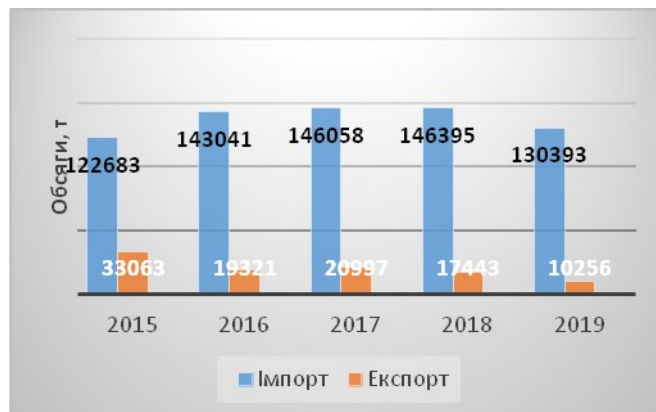


Рис. 1. Динаміка обсягів імпорту та експорту поверхнево-активних речовин, засобів для прання, миття та чищення за 2015-2019 рр.

*Побудовано авторами за [5]

На думку авторів, серед основних причин такого скорочення обсягів експорту мийних засобів та засобів для чищення є невідповідність вітчизняної продукції екологічним вимогам країн-імпортерів.

Постійними країнами-імпортерами мийних засобів для України є Польща і Німеччина. Їх частка в загальній структурі імпорту мийних засобів в Україну залишається найбільш суттєвою та показує повільну тенденцію до зростання. З 2017 року Російську Федерацію в переліку країн імпортерів за обсягами імпорту замінила Чехія (рис. 2).

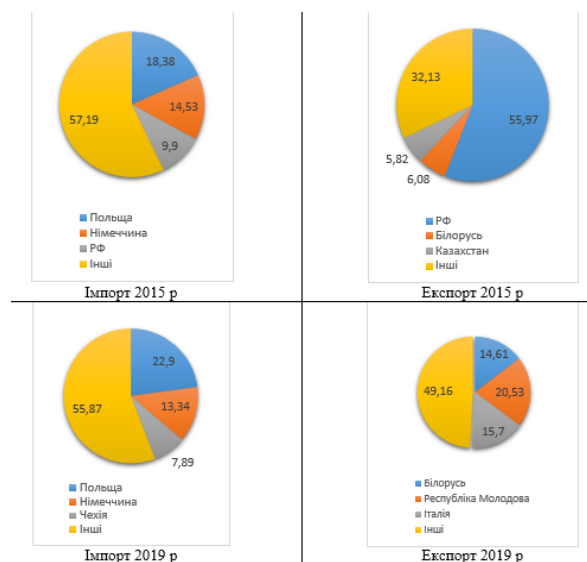


Рис. 2. Структура зовнішньої торгівлі України із зазначенням основних країн-контрагентів у 2015 та 2019 роках

*Побудовано авторами за [6]

Основними країнами-експортерами мийних засобів для України є, переважно, країни бывшего СНД (Білорусь, Казахстан, Республіка Молдова). Однак у 2019 році 15,7 % експорту мийних засобів прийшлося на Чехію. Це може свідчити про початок сталого виходу України на європейський ринок даного сегменту.

У науковій доповіді НАН України [4] для вітчизняної хімічної продукції в цілому, і мийних засобів зокрема намічено перспективні ринки збуту. Так, рекомендовано переорієнтувати експортні потоки мила, ПАР та мийних засобів на ринки таких країн, як Білорусь, Молдова, Азербайджан, Вірменія, Казахстан, Киргизстан, Таджикистан, Туркменістан, Узбекистан; на ринки країн Європи, а саме – Німеччини, Польщі,

Болгарії, Румунії, Чехії, країн Балтії та інших країн, наприклад Грузії, Туреччини, Бразилії.

На даний час, згідно реєстру екологічних сертифікатів [7], в Україні 70 підприємств різних організаційних форм сертифікували свою продукцію згідно з ДСТУ ISO 14024 на відповідність екологічним стандартам. При цьому кількість підприємств, що сертифікували нехарчову продукцію значно вища, і становить 49 проти 21, або 70 %. Серед основних груп непродовольчих товарів, що пройшли екологічну сертифікацію, є будівельні матеріали та вироби з них, продукція хімічної промисловості, косметичні засоби, текстильні вироби, а також упаковка для харчових продуктів та посуд одноразового використання (табл. 2).

Таблиця 2

**Структура вітчизняних підприємств, що пройшли екологічну сертифікацію
за товарними групами нехарчової продукції**

№	Товарна група	Кількість підприємств	Частка, %
1	Будівельні матеріали та вироби з них	25	35,8
2	Вироби текстильні	1	1,4
3	Продукція хімічної промисловості	33	47,1
4	Косметичні засоби	7	10
5	Меблі та покриття для підлоги з лісоматеріалів	1	1,4
6	Упаковка для харчових продуктів та посуд одноразового використання	2	2,9
7	Установки електричні та побутові прилади	1	1,4
	Разом	70	100

*Побудовано авторами за [7]

Як видно з табл. 2, близько половини підприємств, що пройшли екологічну сертифікацію, випускають хімічну продукцію, в тому числі й мийні засоби. Детально їх структуру за товарними підгрупами показано на рис. 3.



Рис. 3. Структура підприємств хімічної продукції України, що пройшли екологічну сертифікацію за підгрупами

*Побудовано авторами за [7]

Як видно з рис. 2, більша частка підприємств хімічної промисловості, що сертифікували свою продукцію за екологічними стандартами, випускають саме мийні засоби та засоби для чищення. Так, одними з перших, в 2017 році, сертифікацію на відповідність СОУ ОЕМ 08.002.12.065:2016 «Засоби мийні та засоби для чищення. Екологічні критерії оцінювання життєвого циклу» пройшли такі вітчизняні виробники, як ТОВ «Біосфера», ТОВ "Сервіс Про" (ТМ «Фрекен БОК»), ТОВ «Сирена Плюс ЛТД». У 2020 році сертифікували мийні засоби та засоби для чищення також ТОВ фірма «СВ», ПП ВКФ «ПОЛІМЕР», ТОВ «СПЛАТ ГЛОБАЛ».

Розглянемо організаційну структуру системи екологічної стандартизації і сертифікації та механізм застосування екомаркування в Україні на прикладі мийних засобів.

Базою для системи екологічної стандартизації та сертифікації в Україні є державна стратегія, що затверджена Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» [8]. Згідно з [8], екологічне маркування розглядається як один з інструментів досягнення безпечного для здоров'я людини стану навколишнього середовища.

Оновлений проект Стратегії державної екологічної політики до 2030 року доповнює попередній варіант Стратегії впровадження формування у суспільстві екологічних цінностей та засад сталого споживання і виробництва. Заходи на досягнення цієї мети спрямовані на розвиток в Україні інструментів сталого споживання та виробництва, систем екологічного управління, екологічної сертифікації продукції згідно з вимогами міжнародних стандартів та пропагування екологічного маркування серед споживачів [2].

У ст. 31 Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища" [9] зазначено, що метою екологічної стандартизації і нормування є "встановлення комплексу обов'язкових норм, правил, вимог щодо охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки". Екологічна сертифікація, як правило, є функцією управління у сфері охорони навколишнього природного середовища. Процедура екологічної сертифікації полягає у письмовому документальному підтвердженні уповноваженим органом у визначеному порядку відповідності об'єкта сертифікації встановленим критеріям та вимогам чинного законодавства. Як об'єкт розглядаються товари, послуги, системи управління якістю, персоналом і т.д.

Питання глобального вирішення екологічних проблем та координації видів діяльності в цьому напрямку вирішуються в міжнародній мережі Global Ecolabelling Network (GEN), яка об'єднує національні та регіональні сертифікаційні системи, що визнають результати оцінювання між собою та є визаними на міжнародному рівні. Всі вони відповідають вимогам ISO 14024 і об'єднані в міжнародну мережу, але кожна з них має власне екологічне маркування.

Українська система представлена громадським об'єднанням «Жива планета», яка є членом міжнародної асоціації GEN та акредитованим органом з екологічного маркування із міжнародною акредитацією та визнанням в 60 країнах світу, зокрема Канаді, Японії, країнах США та Європи.

Екологічне маркування є сторонньою оцінкою продукту на основі ряду критеріїв, пов'язаних із впливом продукту чи матеріалу на навколишнє середовище протягом всього його життєвого циклу. Метою екологічного маркування є сприяння зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище шляхом визначення продуктів, які відповідають екокрітеріям.

Знаки екологічних маркувань класифікують [10] за такими ознаками, як тип маркування, стадії життєвого циклу продукції, обов'язковість, масштаб поширення та широта охоплення. Приклади національного та регіонального екомаркування показано на рис. 4. Знаком екологічного маркування України є «Зелений журавлик» [2, 11].

РЕГІОНАЛЬНІ ЗНАКИ



Європейська Комісія



Північні країни Європи

НАЦІОНАЛЬНІ ЗНАКИ



США



Україна



Німеччина



Японія

Рис. 4. Приклади знаків екологічного маркування, що присутні на ринку України

Державне регулювання питань сертифікації мийних засобів в Україні певний час базувалося на СанПін 6026 Б-91. «Санитарные правила и нормы по производству и применению товаров бытовой химии». Зараз їх дію відмінено 2018 р. і до цього часу альтернативного документу немає [12].

Сьогодні вимоги до якості вітчизняних мийних засобів нормуються різнопланово та в різних обсягах наступними правовими та нормативними документами:

- Технічний регламент мийних засобів – на даний час це єдиний державний документ, підтвердження відповідності до якого є обов'язковою вимогою для вітчизняних виробників; ним регулюються лише два показники - вміст фосфатів (інших фосфорних сполук), та рівень біорозкладу ПАВ, що є у складі мийного засобу. Використання у складі мийних засобів багатьох небезпечних хімічних речовин даним документом не обмежується.

- ДСТУ 2972:2010 Засоби мийні синтетичні порошкоподібні. Загальні технічні вимоги та методи випробовування – нормативний документ, що є добровільним до застосування; його дія розповсюджується лише на порошкоподібні мийні засоби; нормує лише загальні технічні вимоги виробництва та методи випробовування.

- Стандарти підприємства (ТУ) – конфіденційні документи конкретного виробника, які не

потребують державної перевірки та реєстрації. Перелік та обмеження показників встановлює виробник.

Є очевидним, що наведені документи не забезпечують врегулювання питань безпеки мийних засобів та їх складових до вимог міжнародних стандартів (зокрема до UN GHS – міжнародної системи ООН для класифікації хімічних речовин за типами безпеки та відповідності елементів інформації щодо безпеки, в тому числі етикеток та паспортів безпеки) [12].

Політика екомаркування мийних засобів в Україні реалізується на базі таких нормативних документів:

- Технічний регламент з екологічного маркування;
- ДСТУ ISO 14020:2003 (ISO 14020:2000, IDT) Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи;
- ДСТУ ISO 14021:2016 (ISO 14021:2016, IDT) Екологічні маркування та декларації. Самодекларації II типу (Екологічне маркування типу II);
- ДСТУ ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT) Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу 1. Принципи та методи.

Технічний регламент з екологічного маркування затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 18.05.2011 № 529. Даний документ розроблено у відповідності із Регламентом Європейського Парламенту і Ради ЄС 66/2010/ЄС від 25 листопада 2009 року про знак екологічного маркування ЄС.

На початку 2020 року постановою Кабміну від 12.02.2020 № 88 внесено зміни до Технічного регламенту мийних засобів. Зокрема, визначено, що з метою перевірки відповідності продукції вимогам цього Технічного регламенту з використанням модуля A1 (що передбачає внутрішній контроль виробництва та проведення випробувань продукції під наглядом) проводяться належні випробування типових представників відповідного асортиментного (модельного) ряду мийних засобів або поверхнево-активних речовин. Під терміном «типовий представник асортиментного (модельного) ряду» розуміють представник сукупності мийних засобів або поверхнево-активних речовин, об'єднаних однією торговельною маркою та функціональним призначенням, а для мийних засобів також за умови використання поверхнево-активних речовин однакових за складом. За вибором виробника зазначені випробування проводяться акредитованою випробувальною лабораторією виробника або під відповідальність призначеного органу з оцінки відповідності, обраного виробником.

У разі отримання позитивних результатів випробувань типових представників відповідного асортиментного (модельного) ряду мийних засобів або поверхнево-активних речовин такий асортиментний (модельний) ряд мийних засобів або поверхнево-активних речовин вважається затвердженим. У такому випадку призначений орган з оцінки відповідності видає документ про відповідність асортиментного (модельного) ряду мийних засобів або поверхнево-активних речовин вимогам цього Технічного регламенту (звіт, висновок тощо). Перевірка відповідності асортиментного (модельного) ряду мийних засобів або поверхнево-активних речовин вимогам цього Технічного регламенту здійснюється кожні 2 роки та у разі зміни виробничого процесу та/або сировини для виготовлення мийних засобів [13].

Загальні принципи застосування екологічних маркувань та декларацій, якими треба керуватися при застосуванні екологічних маркувань та декларацій, викладені у міжнародному стандарті ISO 14020:2003.

У ДСТУ ISO 14021:2016 встановлено вимоги до застосування екологічних самодекларацій, що вказують на певну екологічну характеристику продукції та пакування.

Екологічну сертифікацію та маркування продукції (програма I типу) здійснюють на основі стандарту ДСТУ ISO 14024:2018. Стандарт нормує вимоги до схем сертифікації, органів з оцінки відповідності, екологічних критеріїв оцінювання життєвого циклу товарів і послуг. Запропоновані у ДСТУ ISO 14024 критерії, що застосовуються для оцінювання програм екологічного маркування, забезпечують комплексне оцінювання переваг товарів (продукції, послуг) протягом їх життєвого циклу на достатньо надійному рівні [3, 12].

Гармонізація названих стандартів до української національної системи стандартизації відбувалась протягом 2002-2003 років шляхом тотожного перекладу, що уможливило впровадження в Україні системи екологічної сертифікації та маркування за схемою згідно з ДСТУ ISO 14024 [12].

Національний технічний комітет стандартизації ТК 82 «Охорона довкілля» розробляє екологічні критерії оцінювання життєвого циклу. В робочих груп працюють провідні експерти галузі, технологи, екологи. Основні критерії визначення переваг мийних засобів щодо їх потенційних екологічних та фізіологічних впливів впродовж життєвого циклу нормуються екологічним стандартом СОУ ОЕМ 08.002.012.065:2016 Засоби мийні та засоби для чищення. Екологічні критерії оцінювання життєвого циклу. Під дію даного документу підпадають рідини, гелі, пасти, порошки, таблетки, плиточки тощо.

Вимоги стандарту адаптовані до вимог таких актів права ЄС, як:

- Регламент Європейського парламенту та Ради (ЄС) № 1907/2006 від 18 грудня 2006 року щодо реєстрації, оцінки, дозволу і обмеження хімічних речовин (REACH);
- Регламент Європейського Парламенту та Ради (ЄС) № 1272/2008 від 16 грудня 2008 року про класифікацію, маркування та пакування речовин та сумішей (CLP).

У вересні 2018 року прийнято оновлену версію стандарту ISO 14024. З цією метою проведено його позаплановий перегляд для гармонізації до вимог екологічних критеріїв для присудження екологічного маркування ЄС для мийних засобів згідно з Рішенням Комісії ЄС 2017/1216 від 23 червня 2017 року [12].

Слід зазначити, що даний екологічний стандарт не дублює державні норми, а доповнює їх з метою підтвердження екологічності мийного засобу за такими критеріями, як:

- категорії та класи небезпеки для здоров'я людини та довкілля згідно з вимогами системи класифікації і маркування хімічних речовин (GHS) та екологічних критеріїв програми екологічного маркування ЄС (Ecolabel.EU);
- період первинного біологічного розкладу поверхнево активних речовин;
- нормування показнику значення токсичності при критичному об'ємі розведення засобу у воді (CDVtox) згідно з вимогами європейських стандартів.

В стандарті СОУ ОЕМ 08.002.012.065:2016 наведено перелік найпоширеніших небезпечних речовин, що є складовими мийних засобів та перелік заборонених до використання у складі мийних засобів барвників [14]. Відповідно стандарту, забороняється застосування 68 речовин і обмежується вміст у понад 600 речовин [2].

Згідно СОУ ОЕМ 08.002.012.065:2016 на підприємствах мають бути впроваджені маловідходні технології виробництва та схеми роздільного збору відходів для їхньої подальшої утилізації. Щодо готової продукції, екологічний стандарт регламентує окремо для кожного виду засобу показники дозування готового для застосування засобу та показники критичного об'єму розведення засобу (CDVtox). Такі види полімерних матеріалів, як полістирол, полікарбонат, полівінілхлорид та інші хлоровані або галогеновані матеріали заборонено застосовувати для пакування та споживчої тари. Пакувальні матеріали і споживча тара мають бути придатними для повторного перероблення. Забороняється застосовувати до них способи оброблення, які б перешкоджали їх подальшому переробленню.

З метою повного охоплення життєвого циклу мийних засобів, СОУ ОЕМ 08.002.012.065:2016 також передбачає, що зменшення обсягів витрат палива і викидів в атмосферне повітря забруднювальних речовин від транспортних засобів має забезпечуватися системою маршрутів транспортування. Партії засобів для відвантаження мають бути сформовані оптимально.

В Україні екологічну сертифікацію здійснює орган з оцінки відповідності за схемою відповідно ISO 14024 та за наступними етапами (рис. 5):

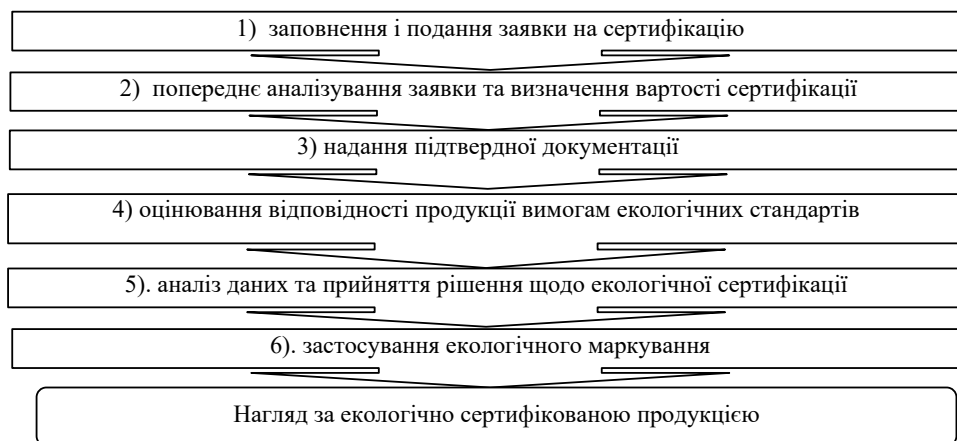


Рис. 5. Етапи проведення екологічної сертифікації в Україні [6, 10, 11]

Орган з оцінки відповідності та органи державного контролю, такі як Антимонопольний комітет або Держпродспоживінспекція, здійснюють нагляд як за сертифікованою продукцією, так і за дотриманням правил застосування екологічного маркування. Порядок здійснення нагляду передбачено Законами України «Про захист економічної конкуренції», «Про захист прав споживачів» та «Про рекламу».

Координаційна рада з екологічного маркування здійснює нагляд за діяльністю органу з оцінки відповідності в питаннях його політики, цілей та результативності діяльності. Національне агентство акредитації України здійснює підтвердження компетентності органу з оцінки відповідності відповідно до вимог ISO/IEC 1706513.

Процедура сертифікації органу з оцінки відповідності на відповідність критеріям міжнародної програми взаємної довіри та визнання (Global Ecolabelling Network's Internationally Coordinated Ecolabelling System (GENECIS)) забезпечує міжнародне визнання результатів оцінювання. Тільки організаціям, що є дійсними членами міжнародної асоціації Global Ecolabelling Network (GEN), доступна сертифікації GENECIS, за якої оцінюється відповідність регіональної (національної) системи екологічної сертифікації та маркування принципам та методам відповідно з ISO 14024, ISO/IEC 17065.

Таким чином, виробники мийних засобів в Україні, що застосовують екологічне маркування, шляхом екологічної сертифікації згідно вимог Технічного регламенту мають можливість підтвердити покращені екологічні характеристики мийних засобів щодо впливу на довкілля та здоров'я людини.

Алгоритм проведення сертифікації мийних засобів описано вище, а її результатом є екологічний сертифікат, що підтверджує проходження екологічної сертифікації та надає право на застосування екологічного маркування у поєднанні зі знаком екологічного маркування «Зелений журавлик». Отриманий

екологічний сертифікат та право на застосування екомаркування згідно ISO 14024 дозволяє виробникам просувати сертифіковані мийні засоби в категорії «ЕКО» на законних підставах.

Згідно ініціативи Європейської Комісії, в закладах торгівлі контроль застосування екомаркування здійснюють за наявністю відповідних сертифікатів. При цьому слід розрізняти екологічну та органічну продукцію. Торговельним підприємствам пропонується розширяти асортимент екопродукції та реалізувати її із позначеннями «екологічний» або «органічний» продукт. Сотні світових торговельних організацій підтримали ініціативу Єврокомісії, в тому числі IKEA, Metro Group, Lidl, Auchan та багато інших [15].

Слушність такої ініціативи полягає в тому, що недобросовісні виробники часто використовують терміни «еко», «натур», «біо», «органік» або інші без наявності сертифікату якості на свою продукцію, як частину маркетингового ходу і ніякого якісного значення вони не несуть. Таким чином, свідомий споживач, що зробив вибір на користь екологічного виробу, наприклад, прального порошку, виявляється обманутим. Для упередження таких ситуацій в ДСТУ ISO 14021 прописано точні еко формулювання, дозволені для застосування при екомаркуванні сертифікованої продукції [16].

До нечітких та неконкретних тверджень належить, наприклад, безпідставне використання тверджень, які підкреслюють загальну екологічну перевагу, таких як «еко», «екологічний», «екологічно чистий», «дружній до довкілля», «натуральний» тощо. У методичному довіднику з екологічної сертифікації [2] наведено приклади графічних зображень таких тверджень на пакуванні мийних засобів та інших товарів (рис. 6).



Рис. 6. Безпідставні екологічні декларації

Твердження, які є неконкретними і просто схиляють споживача до думки, що даний товар може бути екологічно безпечним або екологічно чистим, наприклад «екологічно сприятливий», «зелений», «не забруднюючий», «екологічно безпечний», «сприятливий до природи», також не повинні застосовуватись виробниками.

У випадках, якщо виробник мийних засобів пройшов екологічну сертифікацію та отримав екосертифікат, як, наприклад українська компанія "Де Ла Марк", він отримує право на застосування графічних знаків (рис. 7).



Рис. 7. Приклад законного застосування екомаркування

Твердження, що дозволено застосовувати згідно з ДСТУ ISO 14021 до стадій виготовлення та розподілення, використання, відновлення і видалення продукції, в тому числі мийних засобів та їх пакування, наступні: придатний для компостування; здатний до розкладання; продукція із збільшеним терміном служби; рекуперована енергія; придатний для повторного перероблення; вміст повторно

переробленого матеріалу; знижене енергоспоживання; знижене використання ресурсів; знижене водоспоживання; придатний для повторного використання і придатний для повторного наповнення; маловідходний.

З метою випуску екологічних мийних засобів підприємства-виробники повинні дотримуватися таких напрямків, як:

- застосування ПАР природного походження, що характеризуються високою швидкістю біодеградації;

- застосування інноваційних технологій при виготовленні засобів для чищення та догляду;
- впровадження у виробництво прогресивних технологій та енергозбереження;
- використання для пакування матеріалів, які здатні повторно перероблятися;
- відмова від випробування продукції на тваринах.

В свою чергу, підприємства, що закуповують мийні засоби та засоби для чищення, можуть передбачати відповідність предмету закупівлі вимогам екологічних характеристик товару та його пакування згідно ДСТУ ISO14021:

- здатний до біологічного розкладання;
- придатний для повторного використання;
- придатний для повторного наповнювання;
- відсоток повторно переробленого матеріалу тощо.

Висновки. Таким чином, в роботі показано, що вітчизняна екологічна стандартизація та сертифікація порівняно із європейською має низку невирішених на сьогодні проблем. Так, нормативна база України щодо регулювання управління якістю та безпечністю продукції доки не є досконалою, а добровільний підхід до процедури екологічної стандартизації та сертифікації може спонукати недобросовісних товаровиробників фальсифікувати продукцію та видавати її за «еко» товари, при цьому необгрунтовано підвищувати ціни.

Зважаючи на те, що основними наслідками, які виникають під час застосування мийних засобів, є руйнування водних екосистем та утворення відходів, то саме здійснення екологічної сертифікації і є найбільш ефективним чинником впливу для раціонального споживання ресурсів та в подальшому – для управління відходами, для обмеження вмісту небезпечних складників, оптимального дозування, а також зменшення утворення відходів від споживчого пакування мийних засобів. Зокрема, мийні засоби, що пройшли екологічну сертифікацію та мають екологічне маркування, визначаються як такі, що чинять менший вплив на навколишнє середовище, наділені вищими споживчими властивостями за показниками токсичності, біологічного розкладу і вмістом небезпечних для довкілля сполук.

Встановлено, що проведення екологічної сертифікації мийних засобів є наразі актуальним та своєчасним, при цьому доведенням фахового оцінювання мийних засобів та підтвердження їх відповідності встановленим вимогам є наявність екологічного сертифіката та знака екологічного маркування на пакуванні.

Література

1. Басова Ю.О. Технічне регулювання мийних засобів в Україні: стан та проблеми / Басова Ю.О., Губа Л.М., Кобишан Г.Д. // Економічний, організаційний та правовий механізм підтримки і розвитку підприємництва : колективна монографія ; за ред. О. В. Калашник, Х. З. Махмудова, І. О. Яснолоб. – Полтава : Видавництво ПП «Астра», 2019. – С. 229–238.
2. Берзіна С.В. Екологічна сертифікація та маркування : методичний довідник / Берзіна С.В., Капотя Д.Ю., Бузан Г.С. – К. : Вид-во Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 114 с.
3. Екологічне маркування мийних засобів / Ю. О. Басова, А. С. Ткаченко, І. В. Пахомова // Сучасне матеріалознавство та товарознавство: теорія, практика, освіта : матеріали VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (12–13 березня 2020 року, м. Полтава). – Полтава : ПУЕТ, 2020. – С. 139–142.
4. Імплементация Угоди про асоціацію між Україною та ЄС: економічні виклики та нові можливості : наукова доповідь / за ред. акад. НАН України В.М. Гейця та чл.-кор. НААН України Т.О.Осташко ; НАН України, ДУ "Ін-т екон. та прогнозів НАН України". – К., 2016. – 184 с.
5. Державна фіскальна служба України. Офіційний портал. – URL : <http://sfs.gov.ua/ms/fl1> – (Дата звернення: 24.09.2020).
6. Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT) : ДСТУ ISO 14024:2018. – URL: <https://www.ecolabel.org.ua/iso-14024-dstu-iso-14024> – (Дата звернення: 24.09.2020).
7. Реєстр чинних екологічних сертифікатів. – URL : <https://www.ecolabel.org.ua/reestr-sertifikativ> – (Дата звернення: 26.09.2020).
8. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року [Електронний ресурс] : Закон України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
9. Про охорону навколишнього природного середовища [Електронний ресурс] : Закон України [прийнято ВР від 25.06.1991 № 1264XII] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1991. – № 41. –

Ст. 546. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/126412>.

10. Віхорт Ю.В. Екологічна сертифікація та маркування як інструмент регулювання національної економіки / Ю.В. Віхорт // Інвестиції: практика та досвід. – 2018. – № 3. – С. 30–35.
11. Берзіна С. Екологічна сертифікація та маркування: головні акценти для споживача / Світлана Берзіна // Надзвичайна ситуація +. Березень. – 2018. – С. 42–46.
12. Оновлений екологічний стандарт на мийні засоби: методи оцінювання та застосування у сфері публічних закупівель [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.ecolabel.org.ua/images/page/ns-2018_10_miyuchi_zasoby.pdf – (Дата звернення: 04.09.2020).
13. Технічний регламент мийних засобів удосконалено. – URL : <http://online.budstandart.com/ua/news/ecology-ua/21492-tekhnichnij-reglament-mijnikh-zasobiv-udoskonalo.html> – (Дата звернення: 05.09.2020).
14. Веренікін О.М. Актуальність екологічної сертифікації мийних засобів в Україні / О.М. Веренікін, Ю.В. Слива, Л.Є. Булітко // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2019. – № 3. – С. 11–35.
15. DeLaMark. Детальна інформація щодо екологічної сертифікації. – URL : <https://delamark.ua/about-us/environmental-certification> – (Дата звернення: 07.09.2020).
16. Екологічні маркування та декларації. Екологічні самодекларації (Екологічне маркування типу II) (ISO 14021) : ДСТУ ISO 14021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ecolabel.org.ua/iso-14021-dstu-iso-14021> – (Дата звернення: 07.09.2020).

References

1. Basova Yu.O. Tekhnichne rehulivannia mynykh zasobiv v Ukraini: stan ta problemy / Basova Yu.O., Huba L.M., Kobyschkan H.D. // Ekonomichnyi, orhanizatsiyni ta pravovi mekhanizm pidtrymky i rozvytku pidpriemnytstva : kolektyvna monohrafiia ; za red. O. V. Kalashnyk, Kh. Z. Makhmudova, I. O. Yasnolob. – Poltava : Vydavnytstvo PP «Astrai», 2019. – S. 229–238.
2. Berzina S.V. Ekolohichna sertyfikatsiia ta markuvannia : metodychni dovidnyk / Berzina S.V., Kapotia D.Iu., Buzan H.S. – K. : Vyd-vo Instytut ekolohichnoho upravlinnia ta zbalansovanoho pryrodokorystuvannia, 2017. – 114 s.
3. Ekolohichne markuvannia mynykh zasobiv / Yu. O. Basova, A. S. Tkachenko, I. V. Pakhomova // Suchasne materialoznavstvo ta tovaroznavstvo: teoriia, praktyka, osvita : materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii (12–13 bereznia 2020 roku, m. Poltava). – Poltava : PUET, 2020. – S. 139–142.
4. Implementatsiia Uhody pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu ta YeS: ekonomichni vyklyky ta novi mozhlyvosti : naukova dopovid / za red. akad. NAN Ukrainy V.M. Heitsia ta chl.-kor. NAAN Ukrainy T.O.Ostashko ; NAN Ukrainy, DU "In-t ekon. ta prohnozuv. NAN Ukrainy". – K., 2016. – 184 s.
5. Derzhavna fiskalna sluzhba Ukrainy. Ofitsiyni portal. – URL : <http://sfs.gov.ua/ms/f11> – (Data zvernennia: 24.09.2020).
6. Ekolohichni markovannia ta deklaratsii. Ekolohichne markovannia typu I. Pryntsypy ta protsedury (ISO 14024:2018, IDT) : DSTU ISO 14024:2018. – URL: <https://www.ecolabel.org.ua/iso-14024-dstu-iso-14024> – (Data zvernennia: 24.09.2020).
7. Reiestr chynnykh ekolohichnykh sertyfikativ. – URL : <https://www.ecolabel.org.ua/reestr-sertifkativ> – (Data zvernennia: 26.09.2020).
8. Pro Osnovni zasady (stratehiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku [Elektronnyi resurs] : Zakon Ukrainy. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
9. Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha [Elektronnyi resurs] : Zakon Ukrainy [pryniato VR vid 25.06.1991 № 1264XII] // Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR). – 1991. – № 41. – St. 546. – Rezhym dostupu : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/126412>.
10. Vikhort Yu.V. Ekolohichna sertyfikatsiia ta markuvannia yak instrument rehulivannia natsionalnoi ekonomiky / Yu.V. Vikhort // Investytsii: praktyka ta dosvid. – 2018. – № 3. – С. 30–35.
11. Berzina S. Ekolohichna sertyfikatsiia ta markuvannia: holovni aktsenty dlia spozhyvacha / Svitlana Berzina // Nadzvychaina sytuatsiia +. Berezen. – 2018. – С. 42–46.
12. Onovleni ekolohichnyi standart na myni zasoby: metody otsiniuvannia ta zastosuvannia u sferi publichnykh zakupivel [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://www.ecolabel.org.ua/images/page/ns-2018_10_miyuchi_zasoby.pdf – (Data zvernennia: 04.09.2020).
13. Tekhnichni rehlement mynykh zasobiv udoskonalo. – URL : <http://online.budstandart.com/ua/news/ecology-ua/21492-tekhnichnij-reglament-mijnikh-zasobiv-udoskonalo.html> – (Data zvernennia: 05.09.2020).
14. Verenikin O.M. Aktualnist ekolohichnoi sertyfikatsii myiuchykh zasobiv v Ukraini / O.M. Verenikin, Yu.V. Slyva, L.Ie. Bulitko // Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. – 2019. – № 3. – С. 11–35.
15. DeLaMark. Detalna informatsiia shchodo ekolohichnoi sertyfikatsii. – URL : <https://delamark.ua/about-us/environmental-certification> – (Data zvernennia: 07.09.2020).
16. Ekolohichni markovannia ta deklaratsii. Ekolohichni samodeklaratsii (Ekolohichne markuvannia typu II) (ISO 14021) : DSTU ISO 14021 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.ecolabel.org.ua/iso-14021-dstu-iso-14021> – (Data zvernennia: 07.09.2020).

КОБИЩАН Г.Д.
БАСОВА Ю.О.
ГУБА Л.М.
ТКАЧЕНКО А.С.

ORCID ID: 0000-0002-8604-2302
 ORCID ID: 0000-0003-4057-7712
 ORCID ID: 0000-0003-1008-6023
 ORCID ID: 0000-0001-5521-3327

kobischan@gmail.com
 basovay5@gmail.com
 lyudmika@gmail.com
 alina_biaf@ukr.net

Надійшла/Paper received : 13.03.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

Ю.С. СОКОЛАН

Хмельницький національний університет

Л.В. КУЧЕРЕНКО

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ ДОСВІДУ ПЛАНУВАННЯ СИСТЕМИ БЛАГОУСТРОЮ ЖИТЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

В роботі проведено аналіз досвіду планування системи благоустрою житлових територій при реконструкції. Розглянуто питання українського досвіду планування системи благоустрою у відповідності до затверджених стандартів та державних будівельних норм. Проведено аналіз стану затвердження місцевих документів в сфері благоустрою населених пунктів, який показав недостатній відсоток затвердження необхідних нормативних документів на місцевому рівні, що є однією із ключових проблем розвитку системи благоустрою.

Також, проведено детальний аналіз зарубіжного досвіду планування системи благоустрою та тенденцій розвитку цієї системи у таких країнах, як США, Канада, Російська Федерація, Франція, Сінгапур, Гонконг, Японія. Показано, що першим і основним етапом планування ефективної системи благоустрою є розробка та затвердження відповідних сертифікатів та стандартів. Виокремлено діючі нормативно-правові документи з питань благоустрою, у відповідності до яких відбувається реконструкція територій у зазначених країнах.

Встановлено, що основним напрямком розвитку системи благоустрою у зазначених країнах є винесення місць паркування автомобілів поза межі прибудинкових територій або облаштування підземних паркінгів, розвиток системи озеленення території та класифікація таких територій за рівнями озеленення, реконструкція територій у відповідності до затверджених типових схем облаштування вулиць, озеленення, велосипедних доріжок, тощо.

Показано, що вирішення проблеми організації житлових відкритих просторів на рівні міста полягає у інтенсифікації використання таких територій, а на рівні житлового комплексу – у підвищенні експлуатаційних якостей вільних від забудови територій. В результаті проведеного аналізу встановлено, що поставлена проблема підвищення ефективності використання житлових територій житлових районів потребує комплексного підходу, включаючи питання інтенсивності освоєння території, архітектурно-планувальної організації та благоустрою відкритих просторів.

Ключові слова: система благоустрою, містобудування, реконструкція, благоустрій територій, озеленення, ландшафтна архітектура, прибудинкова територія.

IULIIA SOKOLAN

Khmelnytskyi National University

LILIYA KUCHERENKO

Vinnitsya National Technical University

ANALYSIS OF PLANNING EXPERIENCE OF INHABITED LOCALITIES URBAN BEAUTIFICATION IN VIEW OF RECONSTRUCTION

The analysis of planning experience of inhabited localities urban beautification in view of reconstruction was undertaken in the article. The question of Ukrainian experience of urban beautification system in accordance with approved standards and State Construction Standards was envisaged. Analysis of validation state of local documents in urban beautification field was carried out and it has shown deficient percentage of regulatory documents approval on local level, which is one of key issues of urban beautification development.

Furthermore, detailed analysis of foreign experience of urban beautification planning and development trend of this system in such countries, as USA, Canada, Russian Federation, France, Singapore, Hong Kong, Japan was carried out. It is shown that first and critical stage of planning of effective urban beautification is preparing and approving corresponding certificates and standards. Emphasis added to functioning normative legal documents on issues relating to urban beautification, in accordance to which the territory reconstruction in mentioned countries is realized.

It was established that reference direction of urban beautification development in mentioned countries lies in parking lots removing out of the borders of curtilage or underground parking arrangement, landscape gardening development and classification of such territories by levels of urban gardening, territory reconstruction in accordance with typical schemes of street infrastructure development, urban gardening, cycle paths, etc.

It is shown that problem solution of habitable open grounds organization on city level resides in usage intensification of such territories, and on the level of residential compounds – in increasing exploitation properties of open grounds. As a result of undertaken analysis it was established that raised problem of increasing the effectiveness of residential area usage within residential areas imposes complex approach, including question of land development intensiveness, architectural and planning organization and open grounds beautification.

Keywords: urban beautification, urban development, reconstruction, landscaping and public amenities, urban gardening, landscape architecture, curtilage.

Постановка проблеми

Протягом історичного розвитку людства соціально-економічні умови його існування були нерозривно пов'язані з благоустроєм території, де вони мешкали. Люди намагалися створити сприятливі умови для життя, а також раціонально використовувати територію. Благоустрій завжди створював для мешканців соціально-естетичний комфорт проживання в населеному пункті.

В останні роки все більше приділяється уваги до стану сфери благоустрою населених пунктів. Це пов'язано з тим, що благоустрій населених пунктів безпосередньо пов'язаний із життєдіяльністю населення і включає в себе утримання територій населених пунктів у належному стані, їх санітарного очищення, збереження об'єктів загального користування, а також природних ландшафтів, інших природних комплексів і об'єктів, організацію належного утримання та раціонального використання територій, будівель, інженерних споруд та об'єктів рекреаційного, природоохоронного, оздоровчого, історико-культурного та іншого призначення, створення умов для реалізації прав суб'єктами у цій сфері [1].

Проведення реконструкції території має вагомий вплив на різні елементи системи благоустрою, до яких відносяться підсистема утримання вулично-дорожньої мережі, підсистема зовнішнього освітлення, підсистема озеленення території, підсистема комунального обслуговування території, підсистема інженерного захисту території, підсистема утримання прибудинкових територій. В такому розрізі набуває актуальності аналіз досвіду планування системи благоустрою житлових територій при їх реконструкції, а також вибір оптимального методу реконструкції території та його впливу на об'єкти системи благоустрою [20].

Виклад основного матеріалу

Історичний розвиток благоустрою населених пунктів тісно пов'язаний з соціально-економічними умовами розвитку, насамперед, міських поселень. Існує нерозривний зв'язок розвитку благоустрою населених пунктів із становленням державного регулювання, цивілізаційними процесами, а також, з релігією.

Історичний досвід у галузі містобудування та благоустрою розглядається з епохи Відродження (XIV–XVI ст.). Історія містобудування дореволюційної Росії, до складу якої на той час входила значна частина території сучасної України, відрізнялася особливо низьким ступенем благоустрою і займала в Європі в цьому відношенні одне з останніх місць [1].

Компетенція системи державного регулювання у сфері благоустрою населених пунктів оцінюється забезпеченням раціонального розміщення, утримання в належному стані усіх об'єктів благоустрою.

В сучасному світі благоустрій населених пунктів неможливий без належної якості інженерних мереж, зокрема, електрифікації, газифікації, телефонізації, транспорту, водопроводу, каналізації. Розвиток інженерних мереж неможливо розглядати, не враховуючи екологічні аспекти, а саме: озеленення, захист від підтоплення, боротьбу із забрудненням повітря, ґрунту та води тощо.

Також не можна недооцінювати вплив вибору сприятливої території для будівництва підприємств та житлових районів на обсяг та види робіт з благоустрою населених пунктів. Для успішного вирішення всіх взаємопов'язаних завдань планування, забудови та експлуатації населених пунктів необхідний комплексний підхід для забезпечення найкращого обслуговування населення та економічності архітектурно-планувальних рішень щодо всіх видів будівництва з врахуванням перспективи його розвитку. Історичним передумовам створення сфери благоустрою приділяв увагу Є. Пряхін [3, 4]. Аналізуючи часи існування СРСР Пряхін зазначає, що благоустрою населених пунктів починають приділяти увагу на загальносоюзному, республіканському та місцевому рівнях. Розробляється відповідна нормативно-правова база. Основним регулюючим документом по благоустрою території на той час був СНиП III-10-75 Благоустройство территорий [5].

Основним регулюючим документом по благоустрою територій є ДБН Б.2.2-5:2011 Благоустрій територій [6] та ДБН Б.2.2-12:2018 Планування та забудова територій [7]. Ці норми встановлюють загальні положення проєктування нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту об'єктів благоустрою та обов'язкові для дотримання при проєктуванні, виконанні та прийманні робіт з благоустрою територій населених пунктів. Незалежно від підпорядкування та форми власності ці норми поширюються на наступні об'єкти благоустрою:

- парки (гідро-, луго-, лісопарки, парки культури та відпочинку, парки-пам'ятники садово-паркового мистецтва, спортивні, дитячі, історичні, національні, меморіальні та інші), рекреаційні зони, сади, сквери;
- пам'ятки культурної та історичної спадщини;
- майдани, площі, бульвари, проспекти;
- вулиці, дороги, проїзди, провулки, узвози, пішохідні та велосипедні доріжки, зупинки та споруди міського громадського транспорту, майданчики для паркування;
- пляжі;
- кладовища;
- інші території загального користування;
- прибудинкові території;
- території підприємств та закріплені за ними території на умовах договору;
- водоохоронні зони в межах населених пунктів;
- прибережні захисні смуги в межах населених пунктів.

Окрім загальнодержавного регулювання у сфері благоустрою, у населених пунктах приймаються місцеві програми з благоустрою, плани заходів з благоустрою, правила благоустрою, програми розвитку збереження зелених зон, схеми санітарної очистки, тощо. Але аналіз стану виконання вимог [1], передбачених законодавством у сфері благоустрою населених пунктів (табл.1) свідчить про те, що не всі

органи місцевого самоврядування дотримуються вимог Закону України «Про благоустрій населених пунктів» [8].

Таблиця 1

Стан затвердження місцевих документів в сфері благоустрою населених пунктів у 2010–2015 рр.

Населені пункти, що затвердили нормативні документи, %	Роки					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Програми з благоустрою	13	14	20	19	22	21
Плани заходів з благоустрою	26	30	37	38	39	40
Правила благоустрою	21	27	36	39	41	42
Програми розвитку та збереження зелених зон	5	6	7	8	12	12
Схеми санітарної очистки	21	25	28	32	38	40
Правила утримання домашніх тварин	6	7	17	17	17	17

*дані без врахування показників окупованих територій України.

Зміна показників за період 2009–2013 рр. демонструє повільну тенденцію до забезпечення виконання законодавства з питань благоустрою населених пунктів, в частині виконання органами місцевого самоврядування обов'язку затвердження необхідних місцевих нормативно-правових актів.

Планування системи благоустрою житлових територій при реконструкції повинно відповідати наступним вимогам [6]:

- під час реконструкції об'єктів благоустрою обов'язково необхідно передбачати створення безбар'єрного середовища для маломобільних груп населення згідно з ДБН В.2.2-17;
- реконструкція цивільних (житлових та громадських)будинків і споруд з урахуванням маломобільних груп населення, функціонально-планувальні елементи споруд, їх земельні ділянки, комунікації, шляхи евакуації, приміщення проживання, обслуговування, а також їх інформаційне та інженерне обладнання треба здійснювати згідно з ДБН В.2.2-17;
- у детальних планах території кварталів житлової і змішаної забудови, їх реконструкції треба передбачати місця або зони для виходу тварин;
- організація рельєфу території, що реконструюється, як правило, треба орієнтувати на максимальне збереження рельєфу, ґрунтового покриву, наявних зелених насаджень, умов існуючого поверхневого водовідведення, використання ґрунтів, що видаляються, на майданчику будівництва;
- у випадку знаходження дерев у зонах інтенсивного пішохідного руху або у зонах виробництва будівельних робіт та реконструкції за відсутності інших видів захисту треба передбачати захисні пристовбурні огороження висотою не менше ніж 0,9 м в залежності від віку, породи дерева та інших характеристик;
- зелені насадження, знесені під час реконструкції та будівництва нових будівель та споруд, мають бути компенсовані;
- об'єм, характер і місце проведення робіт з компенсаційного озеленення треба визначати у кожному конкретному випадку окремо. Проект компенсаційного озеленення включають як самостійний розділ проекту реконструкції.

Для більш широкого розуміння впливу методів реконструкції на елементи благоустрою слід провести аналіз зарубіжного досвіду благоустрою при реконструкції території. Благоустрій об'єктів інфраструктури відпочинку в різних країнах має відмінності, але порівняння цього процесу ускладнюється існуванням базових відмінностей, зокрема, кліматичних, економічних, політичних, а також різницею менталітету та традицій мешканців. Названі чинники впливають на типологію та планування місць проживання людей.

Підходи до благоустрою житлових територій в Європі, Америці та Азії мають суттєві відмінності, але мета у всіх однакова і полягає у створенні повноцінного та безпечного середовища для покращення умов життя.

Європа. В країнах Європи міста мають багату історію містобудування, що наклало відбиток і на сучасний благоустрій. Проблема оновлення міста та історичного спадку європейськими містами вирішується невеликою часткою висотних багатоквартирних житлових будівель. Економічні тенденції розвитку сучасної Європи визначають рівень благоустрою. В містах існує сильна урбан - спільнота, яка захищає права жителів, не даючи інвесторам перетворити найбагатші міста Європи в найдорожчі. У плануванні багатьох європейських міст закладено дві основні ідеї: універсальний дизайн та пішоходоцентризм. Місто, зокрема, має бути комфортним для всіх, але на першому місці – пішоходи та люди за обмеженою мобільністю. Тому в Європейських містах відділяють широкі тротуари від проїжджої частини болардами, роблять зручні з'їзди для візків, різними методами зменшують швидкість автовок у місті, всі смітники та кнопки виклику світлофору роблять на рівні, зручному для людей на візках. Вулиці міст оснащуються меблями, але відштовхуються від того, що ці об'єкти мають бути довговічними, безпечними, комфортними та відповідати архітектурі і стилю району, міста. Утримання дворової території лежить на жителях будівель, що пояснює економічність та довговічність об'єктів інфраструктури, що обираються [9].

Економічні тенденції розвитку об'єктів інфраструктури відпочинку проглядаються і на прикладі дворової території та дитячих майданчиків, оскільки останні будуються за кошти мешканців, тому часто можна спостерігати один дитячий майданчик на декілька будівель.

У Франції діє Стандарт високої якості навколишнього середовища (Haute Qualité Environnementale, HQE) – стандарт зеленого будівництва, оснований на принципах стійкого розвитку [10]. Цей стандарт був вперше прийнятий в 1992 році на Саміті Землі. Стандарт контролюється Асоціацією по високій якості навколишнього середовища (Association pour la Haute Qualité Environnementale (ASSOHQE)). Стандарт діє в 23 країнах та враховує такі специфічні особливості різних країн як клімат, нормативно-правова база, будівельна практика, організаційні аспекти.

Використання стандартів підвищує ефективність водо- та енергоспоживання, управління відходами, створення здорових та комфортних умов для жителів. Існує сертифікація HQE для кожного типу будівель: житлових, офісних, освітніх, лікувальних тощо. Сертифікуються будівлі, інфраструктурні об'єкти та квартали як на стадії проектування, так і на стадії реконструкції чи експлуатації.

Розвиток Парижу планується на 10 років в так званому Стратегічному плані переміщень (Plan de déplacements urbain, PDU). В цьому плані визначені задачі зі зменшення забруднення повітря, по покращенню моделі поведінки мешканців, по збільшенню ефективності та зручності переміщення громадян, по благоустрою територій відпочинку тощо. Робочі плани і проекти благоустрою об'єктів інфраструктури знаходяться під керівництвом мерії, яка здійснює контролювання цих проектів на предмет відповідності загальноєвропейським нормам доступності, безпеки та захисту навколишнього середовища (HQE).

Нові ідеї парижани спочатку випробовують на невеликих ділянках. За сприятливого результату нової ідеї її поширюють і на інші ділянки міста.

В сучасних житлових кварталах в передмістях Парижу використовують реновацію, тобто адаптивне використання територій, будівель, споруд і комплексів зі зміною їх функціонального призначення і подальшого використання. Наприклад, на місці автомобілебудівного заводу на річці Сена було створено парк Андре Сітроена, а промзона Булонь-Бійанкур в 2023 році має перетворитись в культурну пам'ятку країни – «Острів мистецтв». Європейці використовують реновацію промислових зон як один з перспективних напрямків розвитку міста [11].

Також недіючі або малоефективні виробничі об'єкти, а також промислові території, що перешкоджають повноцінному подальшому розвитку міської інфраструктури перетворюють на соціальне житло чи житло для середнього класу населення. Інфраструктура таких кварталів досить зручна, дворові території вільні від машин і мають об'єкти відпочинку.

Більшість дворів оснащені дворівневі підземними паркінгами (рис. 1), на поверхні яких знаходяться ландшафтні композиції. Ландшафтний дизайн дворів має природний характер.

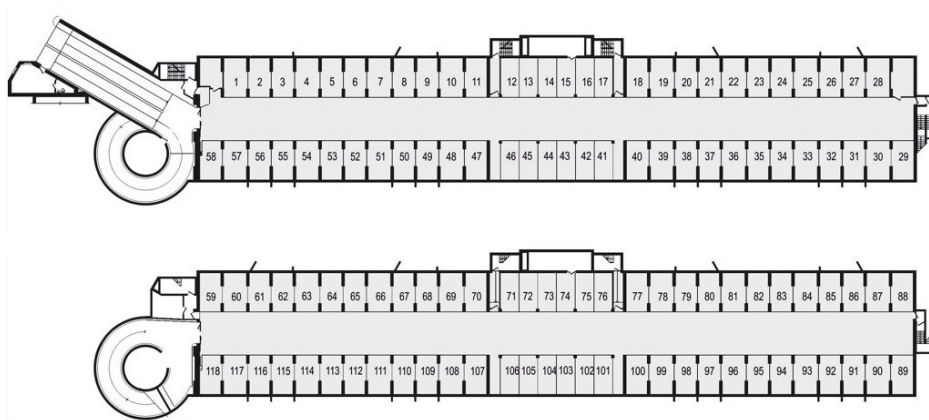


Рис. 1. Типова схема дворівневого підземного паркінгу (Франція)

Російська Федерація. З 2017 року на території Російської Федерації діє Стандарт благоустрою, який складається з чотирьох книг. Він визначає, що при реновації житлової забудови на територіях реорганізації необхідно провести наступні заходи по покращенню житлового середовища її архітектурно-художнього вигляду та вдосконаленню соціальної та функціональної структури кварталу (мікрорайону):

- благоустрій дворового простору сучасними засобами ландшафтно-архітектури та дизайну;
- звільнення дворової території від парковок;
- створення безбар'єрного житлового середовища для всіх груп населення, включаючи інвалідів, що пересуваються на інвалідних візках;
- розвиток в житловому середовищі різноманітних соціальних та культурно-просвітницьких функцій з організацією дозвільних закладів, підприємств побутового та соціального обслуговування;
- організацію та впорядкування відкритих автостоянок для зберігання особистого транспорту жителів кварталу (мікрорайону);
- організацію об'єктів соціальної інфраструктури та повсякденного обслуговування в приміщеннях перших поверхів багатоквартирних житлових домів.

Змінились вимоги до озеленення житлових територій, виникла потреба в нових елементах озеленення, що обумовлено скороченням озелених площ та наявністю великої кількості підземних споруд та комунікацій, а також новими технологіями життєзабезпечення рослин. Зокрема зміни стосуються і асортименту посадкового матеріалу. Активно використовується контейнерне озеленення там, де по причині наявності комунікацій неможлива посадка в ґрунт. Озеленяються дахи підземних споруд, критих автостоянок, тощо.

Існує тенденція до збільшення габаритів посадкового матеріалу. В асортимент введена значна кількість нових сортів та форм декоративних рослин, переважно імпортової селекції. Широко використовуються рослини з кольоровим листям, карликові сорти хвойних рослин.

США. На початку 1930-х років «Новий курс» Франкліна Делано Рузвельта стимулює будівництво житла, зокрема й соціального. Тоді це були селища з одноквартирних котеджів із усіма необхідними зручностями у будинку. Парадоксально, але дуже довго у США соціальне житло, попри нижчу вартість для мешканців, було набагато якіснішим та зручнішим за комерційне. За ці «хороми» бідняки сплачували мінімальну орендну плату, а державі доводилося дотувати утримання такого житлового фонду. У 1949 році Конгрес США ухвалив закон про житло, в якому серед іншого проголошувався принцип «Гідне житло в гідному оточенні для кожного американця». Втїлити в життя це гасло виключно за допомогою окремих будиночків було неможливо, тому від котеджів відмовилися. Натомість архітектори звернулися до ідей француза Ле Корбюзьє, який пропонував вільно розміщувати багатоповерхові «машини для житла» у зелених зонах та оточувати їх усією необхідною інфраструктурою. Тож на початку 1950-х років почалося масове знесення нетрів та будівництво соціальних житлових комплексів із власними школами, магазинами та лікарнями.

Не минула ця тенденція і місто Сент-Луїс у штаті Міссурі. У середині XX століття воно було переповнене, чимало людей жило у старих садибах зі спільними туалетами. «Чорні» та «білі» нетрі поступово поглинали центральні райони, наступаючи з півночі та півдня. Середній клас тікав із небезпечних центральних кварталів у передмістя. Тож, щоб уберегти діловий центр, влада погодилася на трансформацію одного з прилеглих до нього районів.

Влада розглядала різні варіанти розв'язання кризи. Пропонували навіть зменшення поверховості шляхом обвалення висоток і реорганізації планування. Але врешті було ухвалене рішення знести квартал. В 1972 році вибухи знищили три будинки. Перший з них демонстрували у пряму ефірі. Через два роки уряд США дозволив знести увесь квартал. До 1976 року майданчик був повністю розчищений [12].

В США діють Графічні стандарти ландшафтно-архітектурної архітектури (Landscape architectural graphic standards) [13] – повне довідникове видання для всіх, хто пов'язаний з ландшафтною архітектурою, дизайном та будівництвом.

Графічні стандарти ландшафтно-архітектурної містять в собі правила та стандарти у сфері будівництва та управління ландшафтами. В створенні стандарту брало участь більше 100 авторів, якими керував президент (в минулому) Американського суспільства ландшафтних архітекторів Леонард Дж. Хопер.

Основні задачі збірки Стандартів ландшафтно-архітектурної:

- надати усестороннє уявлення про технології ландшафтного проектування (рис. 2);
- надати повну інформацію для роботи ландшафтного архітектора і професійного проектувальника;
- забезпечити усесторонній захист навколишнього середовища;
- використовувати інноваційні технології при проектуванні та проведенні робіт;
- використовувати всі аспекти «зелених» технологій при проектуванні та будівництві.

В збірці Стандартів осягаються задачі для спеціалістів всіх професій, що беруть участь в ландшафтному проектуванні. Зміст кожного розділу по матеріалам та технологіям забезпечує:

- інформацію про матеріали для ландшафтного проектування;
- інформацію про різновиди матеріалів, що застосовуються в ландшафтному будівництві;
- взаємозв'язок різних матеріалів між собою та іншими ресурсами;
- облік діючих промислових стандартів;
- облік впливу сезонних, традиційних, інноваційних змін;
- приклади використання принципів детальних рішень;
- інформацію про сезонне обслуговування та утримання об'єктів ландшафтно-архітектури.

Також в США діють Стандарти економії часу для ландшафтно-архітектури (Time-Saver Standards for Landscape Architecture) [14]. Ці стандарти мають на меті економію часу для робіт з ландшафтно-архітектури і містять інформацію про будівельні матеріали, конструкції дорожнього покриття, енерго- та ресурсозберігаючі технології, процедури будівництва, рекультивації земель, зокрема відновлення ґрунтів та рослинності, нових концепцій озеленення тощо.

В Цью-Йорку діє Керівництво по проектуванню вулиць (Street Design Manual), яке вперше було опубліковане в 2009 році [15]. В цій публікації (рис. 3) визначається єдиний стандарт для проєктів благоустрою. Керівництво по проектуванню вулиць це загальне бачення зовнішнього вигляду вулично-дорожнього простору Нью-Йорку.

Канада. Принципи та підходи до розвитку міста та благоустрою вуличних та громадських просторів викладені у багатьох документах і положеннях. Основним документом є Офіційний план Торонто (Toronto Official Plan), прийнятий в 2010 році. План вирішує проблеми розвитку міста з врахуванням інтеграції нової

забудови в існуючу інфраструктуру, забезпечує захист вуличних ландшафтів та насаджень [16].

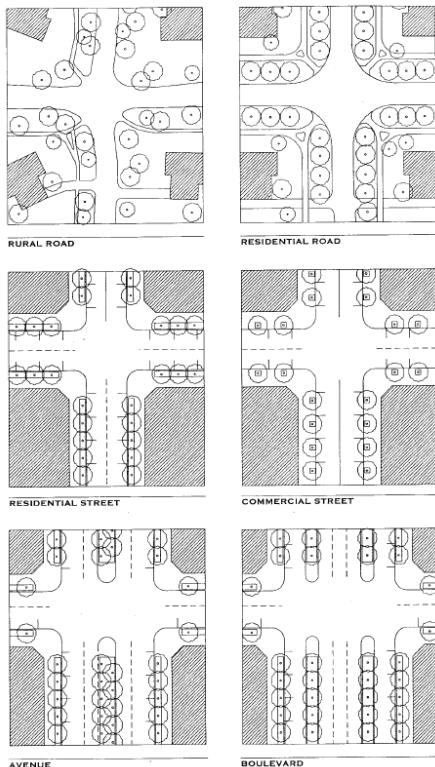


Рис. 2. Види озеленення вулиць у відповідності до американського стандарту Landscape architectural graphic standards

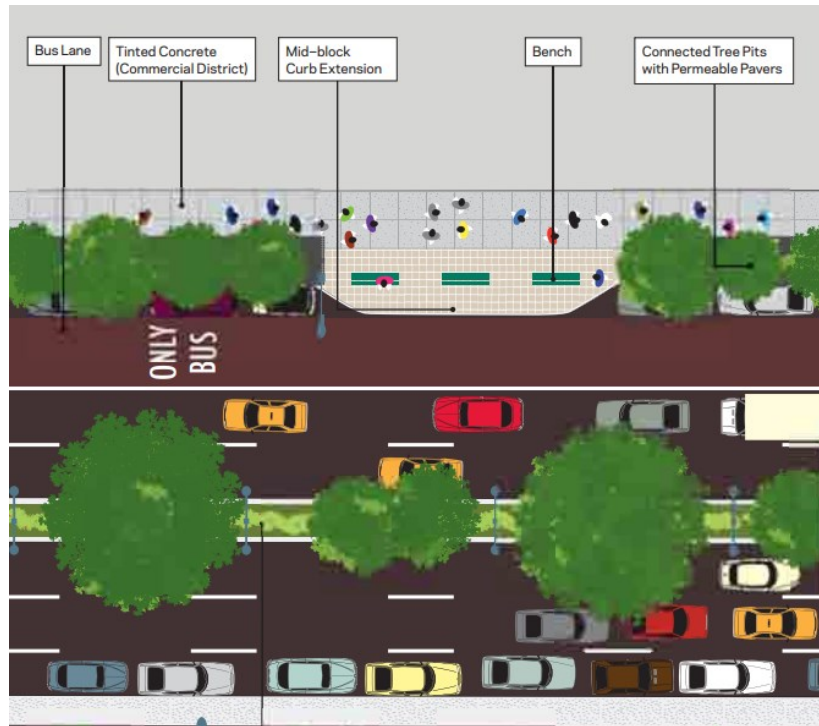


Рис. 3. Типова схема основних вулиць у відповідності до стандарту Нью-Йорку Street Design Manual

Офіційний план Торонто (Urban Design Guidelines) призначений для забезпечення постійного розвитку міста та для реалізації свого потенціалу в таких галузях як транспорт, вулична інфраструктура, захист навколишнього середовища. Керуючу і наглядову функцію згідно до Офіційного плану Торонто покладено на Департамент планування міста із залученням громадської спільноти.

Керівництво по вуличному ландшафту (Urban Design Streetscape Manual) [17], призначене для дизайну вулиць, представляє собою онлайн-ресурс, відкритий для всіх зовнішніх користувачів. Спеціалісти та потенційні розробники можуть виконувати проекти у відповідності із рекомендаціями, вимогами та варіантами благоустрою конкретних вулиць, які містяться в системі. Наприклад, державні чиновники зібрались в Торонто і оголосили, що Sidewalk Labs, дочірня компанія Alphabet буде проводити реконструкцію на площі 12 акрів південно-східної набережної.

Сьогодні в цьому районі розташовано кілька промислових будівель і паркувальних місць. Всього через кілька років тут буде технологічне співтовариство під назвою Quayside. Sidewalk Labs вже виділила 50 мільйонів доларів на проект, а Google перенесе штаб-квартиру в околиці Торонто. Як тільки компанія доопрацює концепцію, вона планує розширити перепланування на весь район набережної площею 800 акрів. Це буде повністю збудований Google квартал, з відтінком канадського смаку. Sidewalk Labs обіцяє впровадити всілякі датчики повсюдно, збирати постійний масив інформації про трафік, рівень шуму, повітря, споживання енергії, рух транспорту і вивезення сміття. Камери допоможуть компанії зрозуміти більш невідомі речі: чи насолоджуються люди життям в даному просторі, як часто жителі звертаються до лікаря клініки при настанні сезону грипу, чи є цей кут оптимальним місцем для продуктового магазину, хто його покупець, місцеві жителі або приїжджі з іншого кварталу.

Гонконг. Гонконг – це і місто, і країна одночасно, на території якої існує шалений дефіцит землі. Саме ця особливість Гонконгу зумовила принципи благоустрою житлового середовища. Яскравим прикладом цього твердження є житловий район Тін-Шуй-Вай, який був побудований в 1987–2001 рр. з метою розвантаження перенаселеного центру міста. Тін-Шуй-Вай – це житловий район в парковій зоні, який складається із 211 типових однопід'їзних або двопід'їзних житлових будинків висотою від 40 до 55 поверхів, розміщених всього на площі 4,3 км².

Особливістю району Тін-Шуй-Вай є те, що, незважаючи на дефіцит землі та щільність населення (приблизно 300000 людей), прибудинкові території гарно озеленені, між будинками існує велика кількість парків та скверів з чудовим покриттям, зовнішнім освітленням та вуличними меблями, спортивними та дитячими майданчиками.

Ідея людиноцентризму проглядається в благоустрою об'єктів інфраструктури, а саме: всі зупинки громадського транспорту об'єднані між собою та під'їздами критими галереями, що дозволяє мешканцям

комфортно пересуватись за будь-якої погоди; автомобілі не мають доступу до дворових територій (дозволено тільки паркування велосипедів); на межах району є багаторівневі паркінги; весь район покритий велодоріжками, які відділені від пішохідних та транспортних шляхів.

З 1990 року в Гонконзі діють Стандарти та керуючі принципи планування міста («Hong Kong Planning Standards and Guidelines» (HKPSG)) (остання редакція 2016 року), розроблені Плановим відділом Уряду Гонконгу. Ці стандарти містять 12 розділів, які стосуються різних сфер діяльності: торгівля, комунальні послуги, промисловість, транспорт, охорона навколишнього середовища тощо. Окремими є стандарти для міського проектування та благоустрою, наприклад, стандарт «Рекреація, відкритий простір та озеленення» (Recreation, Open Space and Greening), який містить вимоги до міського благоустрою та озелененню міст, адже в Гонконзі існує вимога щодо обов'язкового благоустрою та озелененню всіх вільних місць, включно із дахами.

Четвертий розділ Стандарту та керуючих принципів планування міста містить велику кількість практичної інформації (рисуноків, схем, таблиць тощо) для спеціалістів із проектування.

В розділі викладені:

- область застосування та цілі стандартів;
- керівні принципи проектування рекреаційних територій;
- ієрархія відпочинку та відкритого простору;
- співвідношення між активним та пасивним відкритим простором;
- стандарти забезпечення об'єктами відпочинку та принципи розрахунку нормативів на об'єкти відпочинку;

- планування більш зеленого міста;
- керівні принципи планування в області озеленення;
- стандарти забезпечення та розрахунок нормативів зеленого простору;
- збереження існуючих дерев на території розвитку;
- політика екологізації;
- стандарти асигнувань на основні види діяльності в областях благоустрою.

В четвертому розділі стандарту передбачені норми забезпеченості рекреаційними та озеленими територіями, а також норми забезпеченості людей похилого віку об'єктами відпочинку та озеленення.

Сінгапур. Головною соціальною стратегічною ціллю для керманіча країни у 60-і роки ХХ ст. було «зробити з населення країни – власників країни». Для досягнення цієї цілі Лі Куан Ю запровадив програму будівництва соціального житла, яке стало доступним для всіх громадян Сінгапуру на дуже привабливих умовах – оплата мешканцями лише невеликої частини вартості житла та довгострокова розстрочка на решту вартості під маленькі відсотки, але без можливості подальшого продажу цієї нерухомості [18].

Об'єкти житлових комплексів мають огорожу, дуже гарне озеленення з елементами дизайну, місця для відпочинку, занять спортом та дозвілля (рис. 4). Влада Сінгапуру розуміла, що благоустрій та озеленення мають велике значення в житті та функціонуванні міст, поліпшують його архітектурно-художній вигляд, якість та комфортність життя.

Лі Куан Ю назвав проект "Чистий і зелений Сінгапур" найбільш рентабельним у власній кар'єрі. Він вважав, що державні інвестиції в озеленення, екологічну свідомість і благоустрій є основою економічного розквіту. Знакові для Сінгапуру проекти – масштабне озеленення острова і благоустрій двох річок, які з каналізаційних каналів перетворилися на зразкові оази [19].

Японія. Стандарти благоустрою об'єктів інфраструктури в Японії мають обов'язкове застосування та містять вимоги, які майже не зустрічаються в інших країнах.



Рис. 4. Принцип влаштування благоустрою житлового району у Сінгапурі (вид зверху)

Процес стандартизації координується Комітетом по промисловим стандартам Японії (Japanese Industrial Standards Committee). Комплекс стандартів JIS був запропонований Японською асоціацією стандартів (Japanese Standards Association) в 1946 році. Стандарти мають фіксований формат JIS, латинською літерою позначається код галузі застосування (А – будівництво, архітектура).

Всі види порушень при благоустрою об'єктів інфраструктури в Японії чітко регламентуються.

Наприклад, стандарт на озеленення регламентує кількість зелених насаджень на одиницю території. Існує шкала індексів озеленення території, принцип поділу наступний:

- мінімальне значення, що дорівнює 1, отримують території, на якій відсутня зелень;
- ферми, луги, трав'яні газони, поля, сади мають індекс від 2 до 4;
- чагарники та бамбук отримують індекс 5;
- посадка дерев – 6;
- молодий вторинний (посаджений) ліс – 7;
- старий посаджений ліс – 8;
- первинний ліс – 9;
- особливо цінний первинний ліс – 10.

Після завершення будівництва об'єкту середній індекс території не має бути нижчим 6. Це спонукає будівельників компенсувати наявність бетонних та асфальтованих ділянок саджанням дерев.

Стандарт вимагає, щоб загальний час затінення новобудовою вікон прилеглих домів був не більше 2-х годин на добу в будь-який період року. Ця вимога спонукала архітекторів до проектування будівель незвичайної форми, наприклад, у формі піраміди.

Японія – це країна, в якій сплелись традиції з сучасністю. Щоб захистити традиції, в Японії існує стандарт на охорону старих заповідних територій природного характеру та історичних пам'яток.

В Японію також є порядок класифікації архітектурних пам'яток і ціла система регламентів, пов'язаних з їх охороною, реставрацією та експлуатацією.

За дотриманням вищевказаних стандартів в Японії побудована система жорсткого контролю за їх дотриманням. Контролювання за дотриманням вимог стандартів здійснюється сучасними високотехнологічними методами за допомогою автоматизованої системи моніторингу. Нараховується більше 10 700 постійних та тимчасових служб моніторингу, в тому числі тих, що вимірюють рівні шуму та вібрації в житлових кварталах.

Японія – країна стабільності, в якій нормативно-правові акти не переглядають дуже часто, переглядаються тільки правила землекористування.

В Японії існує низка екологічних міст, таких як Fujisawa, Funabashi Morino, Kitakyushu, Keihanna и Toyota City. Перший проект мав вартість 750 млн. доларів і був ініційований виробником електроніки до свого 100-річчя на місті свого заводу. Зелені характеристики проекту містять в собі: лісополосу через все місто, облік напрямку вітру, інфраструктуру по зарядженню електроавтомобілів, сонячні панелі, камери спостереження для безпеки людей, інфраструктуру для пішоходів тощо [20].

Висновки

Проведений аналіз дозволяє виокремити основну проблему підтримання системи благоустрою в Україні при реконструкції території, яка полягає у домінуванні методу ущільнення, внаслідок чого не забезпечуються необхідні елементи системи благоустрою.

Крім того, проведений аналіз зарубіжного досвіду влаштування системи благоустрою при реконструкції території показав, що в Україні також існує проблематика недостатньої нормативно-правової бази у сфері державного регулювання містобудівної діяльності та забезпечення належного рівня благоустрою для комфортного проживання населення.

Таким чином, благоустрій організації відкритих просторів у житловій забудові обумовлюється необхідністю вирішення проблем, що виникають, з одного боку, на рівні міста – це інтенсифікація використання міських територій, і, з іншого боку, на рівні житлового комплексу – це підвищення експлуатаційних якостей вільних від забудови територій. Це вимагає комплексного вирішення проблеми підвищення ефективності використання території житлових районів, включаючи питання інтенсивності освоєння території, архітектурно-планувальної організації та благоустрою відкритих просторів. Слід відмітити, що перспектива забезпечення достатнього рівня та якості виконання таких елементів системи благоустрою як озеленення та облаштування майданчиків для збору твердих побутових відходів має позитивний вплив не тільки на рівень благоустрою житлового району, але й на стан екології у даних районах та в межах міста.

Література

1. Ігнатенко О.П. Державне регулювання сфери благоустрою населених пунктів : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора наук з державного управління : 25.00.02 / О.П. Ігнатенко. – Київ, 2016. – 471 с.
2. Соколан Ю.С. Дослідження ефективності системи благоустрою при різних методах реконструкції території / Ю.С. Соколан, Л.В. Кучеренко, О.Г. Лялюк // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві - 2020». 10-12.11.2020, м. Вінниця
3. Пряхін Є.В. Адміністративно-правове регулювання і забезпечення дотримання правил благоустрою населених пунктів в Україні : автореф. дис. ... канд. юрид. Наук : 12.00.07 / Пряхін Є. В. – Львів, 2007. – 19 с.
4. Пряхін Є.В. Благоустрій населених пунктів в Україні: правове регулювання : монографія / Є.В. Пряхін ; ред.: А.А. Черняк. – Л. : Львів. держ. ун-т внутр. Справ, 2011. – 199 с.
5. СНиП III-10-75 Благоустройство территорий. – М. : Стройиздат, 1979. – 87 с.
6. ДБН Б.2.2-5:2011 Благоустрій територій. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 64 с.

7. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування та забудова територій. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 187 с.
8. Про благоустрій населених пунктів: Закон України від 06 вересня 2005 року №2807-IV // Відом. Верхов. Ради України. – 2005. – №19. – Ст. 194
9. Благоустрій по-європейськи: Гамбург [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://hmarochos.kiev.ua/2014/11/13/blagoustriy-po-yevropeyski-gamburg/>
10. Certification HQE [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.isover.fr/mon-projet/logements-collectifs/reglementation-en-vigueur/certification-hqe>
11. Остров искусств Жана Нувеля. – URL : <https://www.rfi.fr/ru/frantsiya/20100708-ostrov-iskusstv-zhana-nuvela>
12. Історія житлового комплексу Прюїтт-Айгоу: провал модернізму чи перемога сегрегації? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.prostranstvo.media/uk/istoriya-zhytlovogo-kompleksu-pruyitt-ajgou-proval-modernizmu-chy-peremoga-segregacziyi/>
13. Ramsey, Sleeper. Architectural Graphic Standards. Tenth Edition / John Ray Hoke, Jr., editor in chief. – 2016. – 1087 p.
14. Time-Saver Standards For Landscape Architecture: Design and Construction Data. 2nd edition / Charles W. Harris, Nicholas T. Dines. – 1998 – 923 p.
15. Street Design Manual / New York City: Department of Transportation. – 2009. – 232 p.
16. Toronto Official Plan. URL : <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan>
17. Urban Design Streetscape Manual. URL: <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/design-guidelines/streetscape-manual/>
18. Маулік С.С. Соціальний феномен Сінгапуру як результат інноваційної політики Лі Куан Ю / С.С. Маулік // Вісник НТУУ «КПІ». Політологія. Соціологія. Право. – Випуск 3/4 (23/24)/ – 2014. – С. 67–73
19. Сінгапурська модель для українського Донбасу: як змінити все [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://news.24tv.ua/ru/singapurska_model_dlya_ukrayinskogo_donbasu_yak_zminiti_vse_n1319837
20. Страна Японии: не только роботы, но и люди. – URL : <http://green-city.su/strana-yaponiya-ne-tolko-roboty-no-i-lyudi/>

References

1. Ihnatenko O.P. Derzhavne rehulivannia sfery blahoustroiu naselennykh punktiv : dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupenia doktora nauk z derzhavnoho upravlinnia : 25.00.02 / O.P. Ihnatenko. – Kyiv, 2016. – 471 s.
2. Sokolan Yu.S. Doslidzhennia efektyvnosti systemy blahoustroiu pry riznykh metodakh rekonstruktsii terytorii / Yu.S. Sokolan, L.V. Kucherenko, O.H. Lialuk // Mizhnarodna naukovo-tekhnicna konferentsiia «Innovatsiini tekhnologii v budivnytstvi - 2020». 10-12.11.2020, m. Vinnytsia
3. Priakhin Ye.V. Administratyvno-pravove rehulivannia i zabezpechennia dotrymannia pravyl blahoustroiu naselennykh punktiv v Ukraini : avtoref. dys. ... kand. yuryd. nauk : 12.00.07 / Priakhin Ye. V. – Lviv, 2007. – 19 s.
4. Priakhin Ye.V. Blahoustrii naselennykh punktiv v Ukraini: pravove rehulivannia : monohrafiia / Ye.V. Priakhin ; red.: A.A. Cherniak. – L. : Lviv. derzh. un-t vnutr. Sprav, 2011. – 199 s.
5. SNIP III-10-75 Blagoustrojstvo territorij. – M. : Strojizdat, 1979. – 87 s.
6. DBN B.2.2-5:2011 Blahoustrii terytorii. – Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2012. – 64 s.
7. DBN B.2.2-12:2018 Planuvannia ta zabudova terytorii. – Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2018. – 187 s.
8. Pro blahoustrii naselennykh punktiv: Zakon Ukrainy vid 06 veresnia 2005 roku №2807-IV // Vidom. Verkhov. Rady Ukrainy. – 2005. – №19. – Ст. 194
9. Blahoustrii po-yevropeyski: Hamburh [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://hmarochos.kiev.ua/2014/11/13/blagoustriy-po-yevropeyski-gamburg/>
10. Certification HQE [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.isover.fr/mon-projet/logements-collectifs/reglementation-en-vigueur/certification-hqe>
11. Ostrov iskusstv Zhana Nuvela. – URL : <https://www.rfi.fr/ru/frantsiya/20100708-ostrov-iskusstv-zhana-nuvela>
12. Istoriia zhytlovogo kompleksu Priuit-Aihou: proval modernizmu chy peremoha sehrehatsii? [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.prostranstvo.media/uk/istoriya-zhytlovogo-kompleksu-pruyitt-ajgou-proval-modernizmu-chy-peremoga-segregacziyi/>
13. Ramsey, Sleeper. Architectural Graphic Standards. Tenth Edition / John Ray Hoke, Jr., editor in chief. – 2016. – 1087 p.
14. Time-Saver Standards For Landscape Architecture: Design and Construction Data. 2nd edition / Charles W. Harris, Nicholas T. Dines. – 1998 – 923 p.
15. Street Design Manual / New York City: Department of Transportation. – 2009. – 232 p.
16. Toronto Official Plan. URL : <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan>
17. Urban Design Streetscape Manual. URL: <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/design-guidelines/streetscape-manual/>
18. Maulik S.S. Sotsialnyi fenomen Sinhapuru yak rezultat innovatsiinoi polityky Li Kuan Yu / S.S. Maulik // Visnyk NTUU «KPI». Politologiya. Sociologiya. Pravo. – Vypusk 3/4 (23/24)/ – 2014. – С. 67–73
19. Sinhapurska model dlia ukrayinskoho Donbasu: yak zminyty vse [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://news.24tv.ua/ru/singapurska_model_dlya_ukrayinskogo_donbasu_yak_zminiti_vse_n1319837
20. Strana Yaponiya: ne tolko roboty, no i lyudi. – URL : <http://green-city.su/strana-yaponiya-ne-tolko-roboty-no-i-lyudi/>

Надійшла/Paper received : 02.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

РОМАН КАМІНСЬКИЙ, НАТАЛІЯ ШАХОВСЬКА, БОГДАН ХУДОБА

Національний університет «Львівська політехніка»

**ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТЕКСТІВ РІЗНИХ СТИЛІВ,
ПОДАНИХ ЦІЛОЧИСЕЛЬНИМИ ЕКВІДИСТАНТНИМИ
ПОСЛІДОВНОСТЯМИ КІЛЬКОСТІ ЛІТЕР У СЛОВАХ**

В даній роботі приведені результати фрактального аналізу моделей текстів різних стилів. В якості моделей використано цілочисельні числові послідовності, елементами яких є кількість літер у словах тексту. Наведено алгоритм обчислення точного значення фрактальної розмірності, який забезпечив визначення точного значення показника Герста. Крім того, обчислено значення константи степеневі залежності R/S . Отримані показники в аспекті фрактальності повністю описують об'єкти дослідження.

Ключові слова: моделювання тексту, цілочисельні дані, фрактальна розмірність, клітинковий метод, показник Герста, константа степеневі функції.

ROMA KAMINSKY, NATALIYA SHAKHOVSKA, BOHDAN KHUTOBA

Lviv Polytechnic National University

**FRactal ANALYSIS OF MODELS OF TEXTS OF DIFFERENT STYLES
SUBMITTED INTEGER EQUIDISTANT SEQUENCES NUMBER OF LETTERS IN WORDS**

This paper presents the results of fractal analysis of models of texts of different styles. Integer numerical sequences, the elements of which are the number of letters in the words of the text, are used as models. An algorithm for calculating the exact value of the fractal dimension is presented, which provided the determination of the exact value of the Hirst index. In addition, the value of the power dependence constant R/S is calculated. The obtained indicators in the aspect of fractality fully describe the objects of research. This method is in fact a logical implementation of the known procedures of fractal analysis and its advantage is that it provides a rigorous mathematical representation of the values of the fractal dimension, the Hirst index and the constant in relation to the indicators of variation. The essence of his presentation is, first of all, as a warning to researchers against misinterpretation of the relationship R/S , because many researchers ignore the existence of a constant for this relationship. Indeed, this relation is a function with two unknown parameters and cannot be directly determined. With regard to the fractal dimension, we can point out that the least important is the conversational style, and the most - poetic. In other words, the model of colloquial text is the smallest part of its environment, poetic - the largest. From the point of view of Hirst's index, the model of the spoken text contains a trend, while the model of the poem has a character closer to the random one. The largest scope of the cumulative series has a model of spoken text, and the smallest - a model of artistic style of the text. Since the cumulative series is a sequential (cumulative) summation of the sequence of deviations of elements from its arithmetic mean, its scope will depend on the presence of groups of elements of the sequence with very large deviations. Artistic style has the least significance of scope.

Keywords: text modeling, integer data, fractal dimension, cellular method, Hirst index, power function constant.

Вступ

Однією з актуальних задач лінгвістики в аспекті розробки систем аналізу текстів є розгляд їх з точки зору математичних об'єктів. В цьому сенсі досліджуваний текст має бути представлений відповідною математичною моделлю. Виходячи з структури тексту як послідовності речень і речень як послідовності слів, в якості такої моделі тексту авторами вибрана цілочисельна еквідистантна послідовність.

Суть моделі в тому, що послідовність слів тексту замінюють числами, кожне з яких відповідає кількості літер у словах цього тексту. Очевидно, що допоміжні розділові знаки початково можуть бути вилучені, а саму послідовність можна прийняти за регулярну. Така послідовність є аналогічною до еквідистантного часового ряду зі значеннями рівнів, поданих цілими числами. У випадку тексту така послідовність не зв'язана з часом, як часовий ряд, а підпорядкована послідовності слів. Тим не менш, вона є математичним об'єктом і до неї можуть бути застосовані такі ж самі методи як і до часових рядів.

Останнім часом, а точніше за останніх два десятиліття, стосовно часових рядів, вельми загальноприйнятим виявився фрактальний підхід та його методологія – фрактальний аналіз. Фрактальний аналіз на сьогодні присутній практично в будь-якій області, яка пов'язана з обробкою різних даних, оскільки забезпечує використання декількох, досить важливих характеристик для їх класифікації, інтерпретації та прогнозування. До таких характеристик відносять фрактальну розмірність часового ряду, показник трендовості часового ряду Герста, константу R/S відношення зв'язку між показниками варіації – розмахом кумулятивного ряду та середньоквадратичного значення цього ж ряду.

У цьому дослідженні не йде мова про фрактальний аналіз власне самого тексту, а лише стосується застосування фрактального аналізу до саме такої моделі для різних текстів та виявити між ними відмінності у фрактальних показниках. Власне, тут робоча гіпотеза є така: чи може, за результатами фрактального аналізу виявити відмінності серед таких моделей текстів. Тому, *метою* даного дослідження є визначення правомірності застосування фрактального аналізу для моделі тексту у вигляді цілочисельної послідовності кількості літер у словах тексту, за відсутності усіх додаткових знаків.

Аналіз публікацій дотичних до даного дослідження.

Моделювання текстів, зокрема математичним апаратом не є чимось новим. Модель у вигляді регулярної цілочисельної послідовності може бути віднесена до класу потоку подій лише з точки зору випадкового числа літер у словах. Тут саме кількість літер визначає випадковість, а не ймовірність появи

конкретного слова. В даному випадку, зразу ж виникає питання: який зв'язок існує між послідовністю слів у реченнях тексту і кількістю літер у словах цих речень. На жаль, в лінгвістичній літературі, ні відповіді про існування такої моделі тексту, ні, тим більш, чи існує якийсь зв'язок між кількістю літер в словах і їх змістом, авторами не виявлено, проте переконав у широкому застосуванні фрактального аналізу.

В [1] приведена методика R/S аналізу з поданням показника Герста, який враховує роль константи C . Визначення фрактальної розмірності різними методами приведені в [2], а саме: з використанням показника Герста H та за допомогою кореляційного інтегралу, яке відоме як метод або алгоритм Грассбергера-Прокаччіа. Оцінювання експоненти Герста в [3] здійснено трьома методами: R/S, DFA та вейвлет аналізу, а також приведені результати порівняння цих методів. В [4] приведені кілька зауважень стосовно фрактальної розмірності та показника Герста.

В [5] приведено методи оцінювання фрактальної розмірності, показника Герста і що вельми важливо, приведений аналітичний спосіб обчислення константи степеневі залежності відношення R/S. Два методи визначення – R/S аналізу та сегментово-варіаційного методу представлено в [6]. Дана сегментово-варіаційного методика досить близька методу. Який використовують автори даного дослідження. В роботі [7] представлений взаємозв'язок між показником Герста та R/S аналізом стосовно класифікації часових рядів валютного ринку. Показано, що показник Герста є метрикою, здатною надати інформацію про кореляцію та стійкість у часовому ряді. Книга [8] дає ясний, доступний і простий виклад математичних властивостей фрактальних об'єктів та часових рядів, зокрема фрактальної розмірності та показника Герста. В [9] розкриваються особливості клітинкового методу визначення фрактальної розмірності, зокрема вказується, що в підрахунок включають і частину неповністю заповнених клітинок. Крім того, зростає складність підрахунку клітинок, коли їх розмір зменшувати. В [10] проаналізовано вплив зовнішнього адитивного шуму на клітинковий алгоритм розрахунку фрактальних показників часових рядів скінченних обсягів. Було виявлено, що ефект шуму напрочуд великий – відносно незначний зовнішній шум передбачає зростання значення похибки на три-чотири порядки більше. Невеликий шум, як правило, є частиною будь-яких реальних досліджуваних даних. Як зазначено в цій статті, слід бути дуже обережним, роблячи висновки на основі чисельно вираховуваних фрактальних показників для експериментальних даних. Основні типи моделей, які застосовуються в лінгвістичних дослідженнях та їх використання для розв'язку різних лінгвістичних задач розглянуто в [11]. Тут окреслено основні підходи щодо розуміння поняття моделі у лінгвістиці. В [12] розглядаються актуальні для математичного моделювання лінгвістичних об'єктів підходи, обґрунтовується доцільність застосування математичних методів, приведені основні принципи створення математичних моделей. Для усунення недоліків існуючих моделей текстових документів, в [13] запропоновано уніфіковану форму змістовної моделі тексту, в основі якої лежить синтез логіко-лінгвістичних моделей його речень, а також описано алгоритм побудови такої моделі. В [14] досліджено теоретичні питання використання моделювання в лінгвістиці, а також зроблено акцент на лінгвістичних моделях, їх особливостях. Також, в лінгвістичному аспекті, описані характерні ознаки моделей та основні етапи їх створення. Крім того, вказано основні галузі, де метод моделювання якісно змінив парадигму лінгвістичного дослідження. Елементи теорії та застосування цілочисельних потоків висвітлені в [15]. Вказано, що такі потоки є елементарними еквідистантними потоками подій з випадковими значеннями амплітуд.

Про фрактальні властивості тематичних інформаційних потоків з Інтернету йдеться в [16], причому, в якості бази даних для обчислювального експерименту вибрана система моніторингу мережевих новин InfoStream. Представлена методика обчислення показників Герста для кластера, визначеного тематикою запиту та приведена якісна інтерпретація результатів. В [17] показано, аналіз інформаційних потоків став одним з основних методів пошуку закономірностей функціонування світової системи наукової комунікації. Основи інтеграції інформаційних потоків висвітлено в [18], де також приведені математичні моделі, елементи теорії інформаційного пошуку та концепції глибинного аналізу тексту (Text Mining) до інформаційних потоків. В [19] розглянуто та подано характеристики основних напрямів та методів та організації лінгвістичних досліджень. До одного із важливих напрямів квантитативних досліджень мови та мовлення належить праця [20], в якій розглянуто вивчення інформаційно-статистичних властивостей тексту. Приведені розрахунки довжину речення та слова у творах Р. Іванчука. Отримані результати зіставлено з аналогічними показниками в українській прозі.

1. Поняття та моделі регулярної цілочисельної послідовності

Аналіз будь-яких зібраних для вивчення даних, зокрема лінгвістичних, має дати відповідь щодо особливостей і властивостей джерела, що породжує ці дані. Іншими словами, повнота отриманих показників фактично вказує на особливості такого джерела, проте ніяк не підказує його фізичну природу, а в обробці текстів автора тексту.

Одним з видів експериментальних даних є потік подій, які є випадковими величинами зі своїм законом розподілу. Такий потік дискретних випадкових величин в літературних джерелах та дослідниками прийнято називати часовим рядом. Особливістю часових рядів є те, що значення його елементів (рівнів) відповідають фіксованим, тобто конкретним моментам часу. Наприклад кількість виробів з наданого обсягу ресурсу, кількість бракованих деталей в послідовності випущених партій деталей тощо.

Моменти фіксації рівнів можуть бути як регулярними – еквідистантний часовий ряд, тобто фіксація відбувається через рівні проміжки часу, так і нерегулярними – випадковими, коли рівні фіксують у

випадкові моменти часу. Якщо мова не йде про фіксацію рівнів в часі, такий ряд називають числовою послідовністю. Одним з різновидів такої послідовності є послідовність з цілочисельними значеннями величин рівнів. Оскільки елементи послідовності приймають цілі додатні значення, на графіку ці величини будуть відповідати поділкам шкали ординат. Шкала ординат в цьому випадку відповідає величині значення кількості літер у словах, а шкала абсцис – порядку слідування цих слів.

Візуально, характер подання таких дискретних послідовностей може бути різним. Наприклад, у вигляді діаграми або як регулярну послідовність імпульсів однакової тривалості, але різної (переважно випадкової) амплітуди як на рис. 1 зліва. Якщо значення елементів подати точками, причому дві сусідні точки сполучені відрізками ліній, то маємо звичайне графічне зображення випадкового процесу, як на рис. 1 справа.

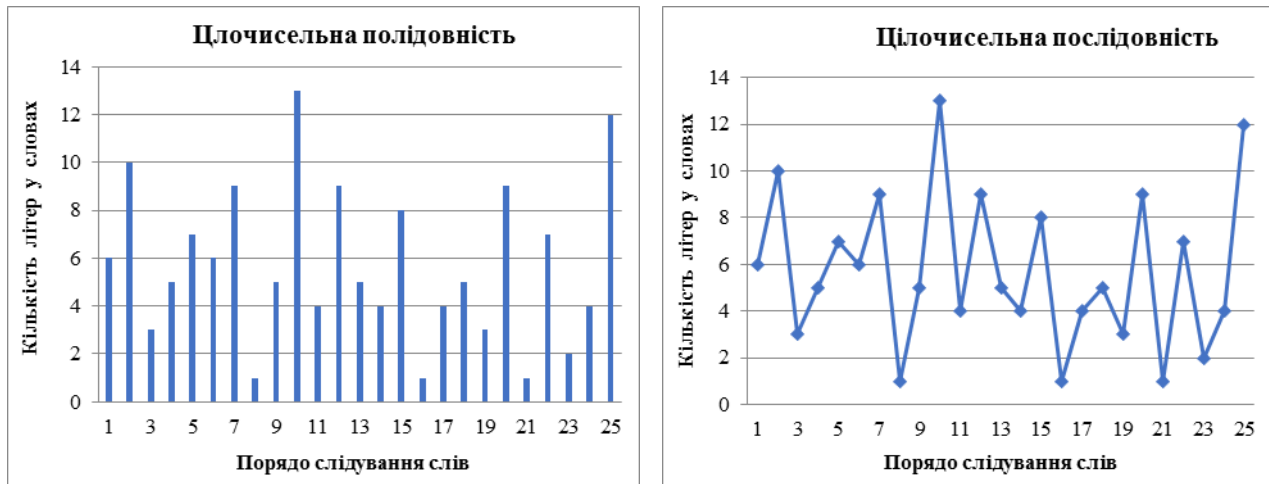


Рис. 1. Види представлення числових цілочисельних послідовностей: зліва діаграмою, справа графіком випадкового процесу

В більшості випадків таку сукупність елементів можна розглядати як елементи – варіанти звичайної вибірки, проте, якщо події наслідують одна за одною регулярно чи випадково маємо справу з дискретним процесом.

Очевидно що така послідовність може бути представлена як:

- регулярна послідовність елементів, коли інтервали між ними є точно заданими і не змінюють свого розміру:

$$z_{i+1} - z_i = \delta = \text{const};$$

- мають місце допустимі відхилення від регулярності, тоді

$$z_{i+1} - z_i = \delta \pm \Delta = \text{var};$$

- інтервали є випадковими величинами

$$z_{i+1} - z_i = \rho = \text{random}.$$

В такому поданні послідовність представляє аналог дискретного процесу бо відстань між елементами є фактично тривалістю до появи наступного елемента.

Дискретність послідовності елементів матиме функціональне представлення якщо значення елементів є числовими величинами. В даному випадку розглядаються цілочисельні додатні значення, тобто послідовність рівнів має такий вигляд

$$z_i \in Z = \{ z_i \mid z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_{n-1}, z_n, i \in I, \}, \quad (1)$$

причому множини $Z, I \subset \mathbf{Z}^+$, де Z – множина значень елементів z_i , а I – множина їх індексів.

Формування моделі виконано за допомогою табличного процесора Ms Excel.

Фактично маємо послідовність випадкових подій, задану конкретним генератором. Ці події можуть бути одновимірними, тобто характеризувати одну властивість або бути багатовимірними і характеризуватися вектором відповідних ознак (наприклад частота вживання за словником, кількість синонімів, ступінь відношення до тематики тощо), що описують їх властивості, особливості та зв'язки з текстом.

2. Експериментальне дослідження словесних потоків

2.1. Підготовка текстів до аналізу. В якості об'єктів дослідження використано наведені нижче тексти різних стилів, а також вказані адреси їх джерел. Крім того, вказано обсяги кількості слів їх семантичної повноти, тобто повного тексту.

Кожен, використаний в експерименті текст відповідає конкретному стилю. Правомірність вибору саме цих текстів, зумовлена тим, що вони представлені на вказаних сайтах та публікаціях як ілюстрація даного стилю. Отже, вибраними стилями є такі:

- **розмовний** (<https://ycilka.net/tvir.php?id=291>), обсягом слів 259;

- **художній** стиль (<http://litmisto.org.ua/?p=5462>), 152 слова;
- **науковий** стиль (<https://ridna-mova.com.ua/engine/download.php?id=177>), слів 215;
- **офіційно-діловий** стиль [21], 179 слів;
- **публіцистичний** стиль (<https://www.ukrlib.com.ua/sochm/printout.php?id=944>), 229 слів;
- **конфесійний** стиль, 208 слів (<http://news.ugcc.ua/bible-quote/%D0%94%D1%96%201:1-8,%20%D0%99%D0%BE%201:1-17>);
- **епістолярний** стиль, 223 слова, <https://sites.google.com/site/stilistikamiller/home/epistolarnij-stil>;
- **вірш** (Л. Костенко «І все на світі треба пережити» – <https://prm.ua/51198-14/>).

Подання цих текстів моделями у вигляді цілочисельних послідовностей є досліджуваними математичними об'єктами. Крім того, ці моделі текстів подаються як еквідистантні послідовності цілочисельних елементів. Представлені в них тексти це лише послідовність елементів, значення яких представлених кількістю літер у словах, що знаходяться в даній послідовності на їх місці цих елементів. Побудова таких моделей полягає в тому, що вибрані для дослідження тексти перетворюють в числові послідовності в такий спосіб.

З текстів вилучено усі розділові та будь-які інші знаки, включаючи апостроф і дефіс. Розділювачем між словами залишається пробіл. Оскільки вибрані уривки текстів складалися з різного обсягу слів, було вирішено обмежити їхні обсяги до однакової величини, а саме до обсягу 150 слів. Справа в тому, що для фрактального аналізу обсяг елементів послідовності є незалежною **змінною** і його величина впливає на обчислювані показники. В даному випадку йде мова про процедуру фрактального аналізу, а тому при його проведенні для кількох різних текстів необхідно, щоб усі вони були в однакових умовах. Це у свою чергу підвищує значення висновків щодо застосування фрактального аналізу, особливо в задачах ідентифікації текстів.

Такий «очищений» текст записується в таблицю так, кожне слово було в окремій комірці, причому має бути збережена послідовність слів в напрямку зверху вниз. На рис. 2 зображено графічне подання моделі тексту розмовного стилю як послідовності слів і кількості літер у словах.



Рис. 2. Графічна модель тексту розмовного стилю

Далі визначається кількість літер у кожному слові.

У результаті буде отримана таблиця з двох стовпців: лівий для слів, а правий для кількості літер в них.

2.2. Формальне подання клітинкового методу. Мінімальний розмір клітинок сітки означає те, що для еквідистантної числової послідовності значення кожного її елемента має свою одну і єдину клітинку. Виходячи з того, що клітинки сітки мають форму квадрату, їх розмір строго визначений поділками шкали ординат. В цьому випадку, накладання сітки мінімального на графік даної послідовності означатиме, що значення будь якого елемента, відображене відповідними координатами $z(x_i, y_i)$, буде локалізоване в межах однієї клітинки і кількість зайнятих клітинок буде рівна кількості елементів цієї послідовності.

Для визначення кількості клітинок конкретної сітки необхідно встановити їх мінімальний розмір та кратність його зміни. Справа в тому, що за умови регулярності послідовності кожна сітка має відповідати дискретності послідовності, тобто розміри клітинок сітки є кратні до розмірів клітинки для одного елемента. На рис. 2 зображено (чорними лініями), які є кратні до мінімальної клітинки (зображені сірим кольором), що вміщує один елемент послідовності з мінімальним значення кількості літер одну, наприклад, слово № 8. Щоб визначити кількість клітинок сітки даного розміру покривають графік послідовності розбивають послідовність на групи по два елемента, по три, по чотири, по п'ять і по шість.

На цьому рисунку чітко видно як локалізовані маркери елементів послідовності в залежності від розмірів клітинок сіток. Варто звернути увагу на те, що для цілочисельних значень величин елементів положення центрів маркерів збігається з поділками шкали кількості літер. Для послідовності цілочисельних величин це забезпечує точний підрахунок клітинок.

Отже, за умови, що послідовність є еквідистантною, підрахунок кількості клітинок автори пропонують здійснювати, за допомогою табличного процесора, в такий спосіб.

Для кожної групи визначають кількість клітинок сітки, що охоплюють по вертикалі клітинки з мінімальним і максимальним значеннями елементів в кожній групі. Тут маєтись на увазі такий підрахунок: для груп по два елементи розмір клітинок сітки є 2×2 поділки шкали на осі ординат для значень елементів, для групи по три елементи відповідно 3×3 поділки цієї шкали, аналогічно для решти груп.

Фрактальну розмірність D розраховують так (рис. 3).

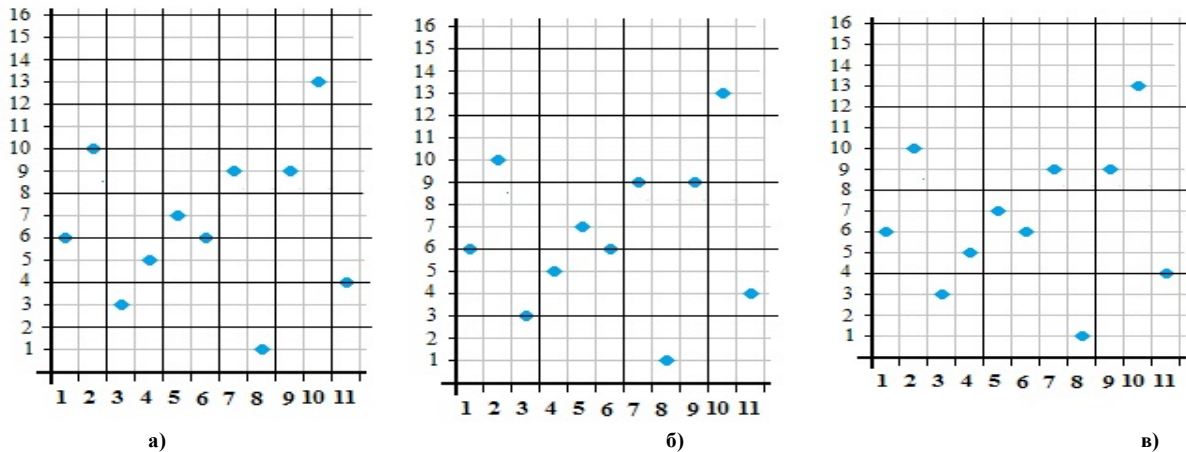


Рис. 3. Набір сіток накладених на графічне зображення послідовності.
Тут маркери графіка вказують кількість літер в послідовності слів

1) для кожної групи і для кожної сітки обчислюють між максимальним і мінімальним значеннями елементів, що входять в цю групу і отриману величину ділять на розмір клітинки сітки. Очевидно, що розмір групи і розмір клітинки мають збігатися, тобто кількість клітинок q_m конкретного розміру сітки може бути визначена так:

$$q_m = \sum_{j=1}^p \left(\frac{\max(z_p^m) - \min(z_p^m)}{d_m} \right), \quad (5)$$

де z_p^m – елемент послідовності, m – номер (розмір клітинок) сітки, p – кількість груп розбиття послідовності під конкретну сітку, d_m – розмір клітинки даної сітки.

2) У результаті сумування значень величин, що є в дужках, буде отримана кількість клітинок q_m . Значення q_m є загалом дробовим числом, проте воно є точним значенням кількості клітинок даного розміру які покривають дану послідовність.

2.3. Визначення фрактальної розмірності D послідовності. Фрактальну розмірність обчислюють клітинковим методом Гаусдорфа-Безіковича. Цей метод має два суттєвих недоліки. Першим є те, що при безпосередньому використанні він дає завищені значення кількості клітинок, а отже і вносить відповідну похибку в розрахунки. Другим недоліком цього методу є те, що підрахунок кількості клітинок, особливо для довгих рядів потребує розробки спеціальних програм, що вимагає від дослідників вміння програмувати або принаймні знайти відповідні програми та навчитися їх використовувати.

Авторами запропоновано і реалізовано в даному дослідженні **модифікований метод обчислення фрактальної розмірності** з визначенням співвідношення заповненості клітинок.

З першої формули системи (4) випливає алгоритм обчислення D , суть якого полягає ось в чому. Фрактальна розмірність є параметром функції внутрішнього зв'язку, яка характеризує залежність відношення

$$D = \lim_{\delta^m \rightarrow 0} \frac{\log(n^m)}{\log(\delta^m)},$$

тобто, відношення логарифму кількості клітинок сітки (з номером m), що покривають до логарифму розміру δ^m клітинок цієї сітки. Значення цього параметру визначають як абсолютне значення кутового коефіцієнта апроксимуючої точки графіка лінії в подвійній логарифмічній системі координат, які відповідають: абсциси – $\log(\delta)$ і ординати – $\log(N)$. Як показано було вище для визначення фрактальної

розмірності необхідно подати зв'язок між кількістю клітинок сітки, що покривають графік послідовності і розміром клітинок даної сітки

N	O	P	Q	R	S	T
Номер слова	К-сть літер	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6
1	6	2	2,333	1,75	1,4	1,167
2	10	3,5	2,333	1,75	1,4	1,167
3	3	1	1,333	1	1,2	1,333
4	5	1	0,667	1	1,6	1,333
5	7	0,5	1	2	1,6	2
6	6	1,5	2,667	2	2,4	2
7	9	4	2,667	3	2,4	2
8	1	2	4	3	2,4	2
9	5	4	3	2,25	1,8	1,5
10	13	4,5	3	2,25	1,8	1,5
11	4	0	0	0	0	0

Рис. 4. Організація обчислення кількості клітинок використаних сіток

Будуємо графік в подвійному логарифмічному масштабі за приведеними значеннями логарифмів, як зображено на рис. 5.

Значення фрактальної розмірності D визначається абсолютною величиною кутового коефіцієнта для рівняння лінії тренду графіка, тобто фрактальна розмірність даної послідовності дискретних величин у випадку даного тексту є рівна $D = 1,3105$.

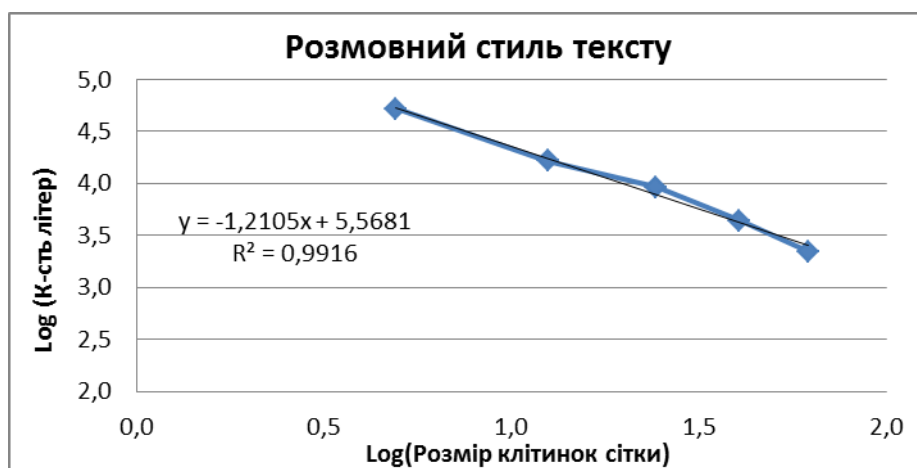


Рис. 5. Апроксимація фрактальних значень

2.4. В значення експоненти Герста. Показник Герста характеризує тип процесу, який домінує в динаміці часового або числового ряду.

На сьогодні значення показника Герста визначають різними методами, переважно використовуючи рівняння (3) нехтуючи константою C , що свідчить про відсутність знань елементарної математики. Цей показник легко визначити з другого рівняння, включеного в систему (4), тобто з рівності вказаної Б. Мандельбротом, а саме:

$$H = 2 - D.$$

Іншими словами, на відміну від описаного підходу в переважаючій більшості відповідних публікацій, значення експоненти H визначається через значення фрактальної розмірності D .

Отже, використовуючи формулу (2) значення показника Герста є рівне $H = 0,7895$.

Показник Герста показує, якою є частка присутнього в ряді хаосу. Як відомо, таких типів поведінки може бути три: коливання значень елементів ряду, випадкова зміна значень рівнів, близька до броунівського руху та існування тренду.

Область визначення показника Герста – відрізок $[0, 1]$, а його зміст заключений в таких межах:

якщо $0 \leq H < 0,5$ – рівні мають коливальний характер;

якщо $H = 0,5$ – ряд є прикладом випадкового броунівського руху;

якщо $0,5 < H \leq 1$ – ряд є фрактальним з наявністю тренду;

2.5. Визначення константи R/S відношення.

Відношення R/S є відношенням двох показників варіації, зв'язаних між собою середнім

арифметичним. Відносна зміна однієї з цих величин зумовлює пропорційну відносну зміну іншої величини, незалежно від їх початкового розміру. За своєю природою це відношення є степеневу функцією і формально описується третім рівнянням системи (4), з якого, за відомого значення H , вираз для значення константи має такий вигляд:

$$C = \frac{R_n}{S_n \cdot n^H}$$

Тут R_n є розмахом кумулятивного ряду; S_n – середньоквадратичне відхилення; C – константа; m – кількість даних; H – експонента Герста. Константа C є фактично коефіцієнтом пропорційності і характеризує природу генератора будь-яких даних: чи то числової послідовності чи часового ряду.

Обговорення

В результаті проведення відповідних обчислень над моделями текстів різних стилів отримані такі результати фрактального аналізу, приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати фрактального аналізу

Стилі	Параметри					
	n	D	H	R	S	C
розмовний	150	1,2105	0,7895	47,4362	2,742	0,3329
художній	150	1,3497	0,6503	23,4228	2,3791	0,3802
науковий	150	1,3157	0,6843	36,9329	3,0744	0,3913
діловий	150	1,2607	0,7393	33,7315	3,2267	0,2586
публіцистичний	150	1,2414	0,7586	32,3893	2,9368	0,2477
конфесійний	150	1,3485	0,6515	27,7248	2,3301	0,4567
епістолярний	150	1,3129	0,6871	41,3557	3,2989	0,4027
віршований	150	1,3702	0,6298	37,1611	2,3408	0,6793

Стосовно фрактальної розмірності можна вказати на те, що найменше її значення має розмовний стиль, а найбільше – віршований. Іншими словами, модель розмовного текст найменшу частину свого середовища, віршований – найбільшу. З точки зору показника Герста модель розмовного тексту містить тренд, той час як модель вірша має характер ближчий до випадкового.

Найбільший розмах кумулятивного ряду має модель розмовного тексту, а найменший – модель художнього стилю тексту. Оскільки кумулятивний ряд це послідовне (накопичувальне) сумування послідовності відхилень елементів від свого середнього арифметичного, його розмах буде залежати від присутності груп елементів послідовності з дуже великими відхиленнями. Найменше значення розмаху має художній стиль. Найбільшу величину середньоквадратичного відхилення має епістолярний стиль. Найменше значення константи степеневу функції R/S має публіцистичний стиль, а найбільше значення цієї константи має віршований. Значення цієї константи відрізняється майже в три рази, і це лише для восьми коротеньких текстів.

Звичайно, залишається відкритим питання як співвідносяться між собою оригінальний текст і його модель у вигляді цілочисельної, еквідистантної послідовності, яким є зв'язок між словами тексту і кількістю літер в цих слова. Очевидно, що на ці питання, в сенсі позитивної чи негативної відповіді, можуть дати лише подальші дослідження. Приведені результати, в жодному випадку не можна вважати істиною в останній інстанції, оскільки вони є лише першою спробою перевірки гіпотези – щодо наукової і практичної цінності такої моделі тексту в задачах комп'ютерної лінгвістики та штучного інтелекту стосовно аналізу текстів.

Висновок

Проведене дослідження за запропонованою методикою дало підстави для її практичного використання. Проте, таке дослідження вимагає обов'язкової присутності висококваліфікованого фахівця – лінгвіста в області стилometriї.

Можна по-різному відноситися до фрактального аналізу числових послідовностей – вважати його статистичним методом чи одним з методів нелінійної динаміки, а ще вважати його окремою методологією. Крім того, при огляді публікацій розуміння авторами суті цих методів, фактично лише двох основних, до яких відносять фрактальну розмірність D та показник Герста H . Усі інші методи впливають з показника Герста.

Приведений метод є фактично логічною реалізацією відомих процедур фрактального аналізу і його перевага в тому, забезпечує строге математичне подання значень фрактальної розмірності, показника Герста та константи у відношенні показників варіації. Суть його подання полягає, в першу чергу, як застереження дослідників від невірної трактування відношення R/S , оскільки досить багато дослідників ігнорують існування константи для цього відношення. Дійсно, це відношення є функцією з двома невідомими параметрами і безпосередньо визначити їх неможна.

Література

1. Steinhaus H. Zacharewicz A. Metody analizy długozasięgowej. 2002, 213 p.
2. Кириллов А.К. Фрактальная размерность временных рядов биологических процессов и объектов / А.К. Кириллов, А.Н. Казимиров // Вісник Донецького національного університету, Сер. А: Природничі науки. – 2013. – № 2. – С. 149–155.
3. J. Mielniczuk, P. Wojdyło, Estimation of Hurst exponent revisited, Computational Statistics & Data Analysis (2006), DOI:10.1016/j.csda.2006.07.033.
4. Kowgier H. Kilka uwag o wymiarze fraktalnym Minkowskiego oraz wykładniku Hursta na giełdzie papierów wartościowych. Studia i prace wydziału nauk ekonomicznych i zarządzania. N 15, 2018, p. 157–167.
5. Kowgier H. Kilka uwag o wymiarze fraktalnym Minkowskiego oraz wykładniku Hursta na giełdzie papierów wartościowych. Studia i prace wydziału nauk ekonomicznych i zarządzania NR 15, 2016, str. 157–167.
6. Orzeszko W. Wymiar fraktalny szeregów czasowych a ryzyko inwestowania / Acta Universitatis Nicolai Copernici Ekonomia Xli – Nauki Humanistyczno-Społeczne – Zeszyt 397, Toruń 2010, P. 57–70.
7. Milton S. Raimundo. Application of Hurst Exponent (H) and the R/S Analysis in the Classification of FOREX Securities. International Journal of Modeling and Optimization 8(2): 116-124 DOI: 10.7763/IJMO.2018.V8.635
8. Федер Е. Фрактали / Федер Е. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
9. Zwolankowska M. Metoda segmentowo-wariacyjna. Nowa propozycja liczenia wymiaru fraktalnego // Przegląd Statystyczny, 2000, R. 47, z. 1-2, S. 209–224.
10. Skrzat J. Accuracy of the box-counting algorithm for noisy fractals. International Journal of Modern Physics C December 2014. DOI: 10.1142/S0129183116501126 – <https://www.researchgate.net/publication/269935552>
11. Лукач М.О. Типи лінгвістичних моделей та їх застосування для розв'язання лінгвістичних задач, 2016. – URL : http://science.lp.edu.ua/sites/default/files/Papers/19_151.pdf
12. Васильєв О. Математичні методи й моделі в лінгвістиці / О. Васильєв, О. Чалий, І. Васильєва. – URL : https://uamoderna.com/images/archiv/27-2020/27_9_28%20Oleksii%20VASYLIEV_compressed.pdf
13. Вавіленкова А. Побудова змістовної моделі тексту на основі використання логіко-лінгвістичних моделей. – Lviv Polytechnic National University, 2016. – С. 169–175. – URL : <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/31313/1/25-169-175.pdf>
14. Калимон Ю.О. Моделирование: лингвистический аспект / Ю.О. Калимон // Молодой ученый. – 2019. – № 4.2 (68.2). – С. 88–91.
15. Большаков И.А. Прикладная теория случайных потоков / Большаков И.А., Ракошиц В.С. – М. : Сов. Радио, 1978. – 248 с.
16. Ландэ Д.В. Фрактальные свойства тематических информационных потоков из Интернет / Д.В. Ландэ // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2006. – Т. 8, № 2. – С. 93–99.
17. Иванов С.А. Статистический анализ документальных информационных потоков / С.А. Иванов, Н.В. Круковская // НТИ. СЕР. 2. ИНФОРМ. ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ. – 2004. – № 2. – С. 11–14.
18. Ландэ Д.В. Основы интеграции информационных потоков : монография / Ландэ Д.В. – К. : Инжиниринг, 2006. – 240 с.
19. Богдан С. К. Методи й методика лінгвістичних досліджень: методичні рекомендації для слухачів і керівників секції української мови / С. К. Богдан. – Луцьк, 2011. – 28 с.
20. Кульчицький І.М. Дослідження довжини речення та слова у творах Романа Іваничука. – URL : <http://science.lpu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jun/13011/ilovepdfcom-139-148.pdf>
21. Заверющенко М.П. Офіційно-діловий стиль: правила укладання документів різних видів : навч. посіб. щодо самостійної роботи студентів / М.П. Заверющенко, О.М. Кривець, С.М. Чернявська, О.В. Шокуров. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – С. 93.

References

1. Steinhaus H. Zacharewicz A. Metody analizy długozasięgowej. 2002, 213 p.
2. Kirillov A.K. Fraktal'naya razmernost' vremennykh ryadov biologicheskikh processov i ob"ektov / A.K. Kirillov, A.N. Kazimirov // Visnik Donec'kogo nacional'nogo universitetu, Ser. A: Prirodnichi nauki. – 2013. – № 2. – S. 149–155.
3. J. Mielniczuk, P. Wojdyło, Estimation of Hurst exponent revisited, Computational Statistics & Data Analysis (2006), DOI:10.1016/j.csda.2006.07.033.
4. Kowgier H. Kilka uwag o wymiarze fraktalnym Minkowskiego oraz wykładniku Hursta na giełdzie papierów wartościowych. Studia i prace wydziału nauk ekonomicznych i zarządzania. N 15, 2018, p. 157–167.
5. Kowgier H. Kilka uwag o wymiarze fraktalnym Minkowskiego oraz wykładniku Hursta na giełdzie papierów wartościowych. Studia i prace wydziału nauk ekonomicznych i zarządzania NR 15, 2016, str. 157–167.
6. Orzeszko W. Wymiar fraktalny szeregów czasowych a ryzyko inwestowania / Acta Universitatis Nicolai Copernici Ekonomia Xli – Nauki Humanistyczno-Społeczne – Zeszyt 397, Toruń 2010, P. 57–70.
7. Milton S. Raimundo. Application of Hurst Exponent (H) and the R/S Analysis in the Classification of FOREX Securities. International Journal of Modeling and Optimization 8(2): 116-124 DOI: 10.7763/IJMO.2018.V8.635
8. Feder E. Fraktaly / Feder E. ; per. s angl. – М. : Mir, 1991. – 254 s.
9. Zwolankowska M. Metoda segmentowo-wariacyjna. Nowa propozycja liczenia wymiaru fraktalnego // Przegląd Statystyczny, 2000, R. 47, z. 1-2, S. 209–224.
10. Skrzat J. Accuracy of the box-counting algorithm for noisy fractals. International Journal of Modern Physics C December 2014.

DOI: 10.1142/S0129183116501126 – <https://www.researchgate.net/publication/269935552>

11. Lukach M.O. Typy linhvistychnykh modelei ta yikh zastosuvannia dlia rozviazannia linhvistychnykh zadach, 2016. – URL : http://science.lp.edu.ua/sites/default/files/Papers/19_151.pdf

12. Vasyliiev O. Matematychni metody y modeli v linhvistytsi / O. Vasyliiev, O. Chalyi, I. Vasylieva. – URL : https://uamoderna.com/images/archiv/27-2020/27_9_28%20Oleksii%20VASYLIEV_compressed.pdf

13. Vavilenkova A. Pobudova zmistovnoi modeli tekstu na osnovi vykorystannia lohiko-linhvistychnykh modelei. – Lviv Polytechnic National University, 2016. – S. 169–175. – URL : <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/31313/1/25-169-175.pdf>

14. Kalymon Yu.O. Modeliuvannia: linhvistychnyi aspekt / Yu.O. Kalymon // Molodyi vchenyi. – 2019. – № 4.2 (68.2). – С. 88–91.

15. Bol'shakov I.A. Prikladnaya teoriya sluchajnykh potokov / Bol'shakov I.A., Rakoshic V.S. – M. : Sov. Radio, 1978. – 248 s.

16. Landeh D.V. Fraktal'nye svoystva tematiceskikh informacionnykh potokov iz Internet / D.V. Landeh // Reestraciya, zberigannya i obrobka danikh. – 2006. – Т. 8, № 2. – С. 93–99.

17. Ivanov S.A. Statisticheskij analiz dokumental'nykh informacionnykh potokov / S.A. Ivanov, N.V. Krukovskaya // NTI. SER. 2. INFORM. PROCESSY I SISTEMY. – 2004. – № 2. – С. 11–14.

18. Landeh D.V. Osnovy integracii informacionnykh potokov : monografiya / Landeh D.V. – K. : Inzhiniring, 2006. – 240 s.

19. Bohdan S. K. Metody y metodyka linhvostylistychnykh doslidzhen: metodychni rekomendatsii dlia slukhachiv i kerivnykiv sektiis ukrainskoi movy / S. K. Bohdan. – Luts'k, 2011. – 28 s.

20. Kulchytskyi I.M. Doslidzhennia dovezhyi rechennia ta slova u tvorakh Romana Ivanychuka. – URL : <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jun/13011/ilovepdfcom-139-148.pdf>

21. Zaveriushchenko M.P. Ofitsiino-dilovyi styl: pravyla ukladannia dokumentiv riznykh vydiv : navch. posib. shchodo samostiinoi roboty studentiv / M.P. Zaveriushchenko, O.M. Krymets, S.M. Cherniavska, O.V. Shokurov. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2019. – С. 93.

Надійшла/Paper received : 04.03.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

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

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-35-39

УДК 004.042

І.З. МАНУЛЯК, С.І. МЕЛЬНИЧУК

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

С.П. ВАЩИШАК

ПВНЗ Університет Короля Данила

С.М. РУДАК

Науково-дослідний проектний інститут ПАТ «Укрнафта»

**РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ КОВЗНОЇ МЕДІАНИ НА ПЛІС
ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ**

В роботі розроблено апаратну реалізацію для методів попереднього опрацювання сигналів, зокрема методом медіани.

Ключові слова: методи опрацювання сигналів, медіана, апаратна реалізація.

I.Z. MANULIAK, S.I. MELNYCHUK, S.P. VASCHYSHAK, S.M. RUDAK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**IMPLEMENTATION OF THE SLIDING MEDIAN METHOD ON FPGA
FOR SENSOR SIGNALS PRE-PROCESSING**

The use of modern hardware platforms in the development of computer system components, including digital signal processing, allows to describe circuit solutions using specialized languages such as AlteraHDL, VHDL, Verilog, etc. One of the options for using the resources of programmable logic integrated circuits is to create digital components of signal pre-processing, in particular in information and measurement channels. The application of this approach is due to the presence of various distortions that lead to information and accuracy loss. Another problem is the need to preserve the information performance of such information and measurement channels. It is common to use analog implementations of signal pre-processing methods, in particular different types filters. In this case, the implementation of pre-processing methods at the hardware level will provide the appropriate processing speed at insignificant hardware costs.

The paper proposes the implementation of the algorithm for processing information and measurement signals using the sliding median method, implemented on a programmable logic integrated circuit. Based on the simulation in a numerical experiment, the efficiency of using such a method is shown in a relatively simple implementation scheme on the FPGA platform. In fact, the pyramidal scheme of conditional constructions provides a simple description of the logical scheme by means of the Altera HDL language, and also allows to reduce the number of comparison operations. The proposed algorithm does not require complex hardware resources, which allows you to effectively involve typical circuit solutions.

Keywords: signal processing methods, median, hardware implementation.

Постановка проблеми

На сучасному етапі активно впроваджуються в практику нові інформаційні технології. Зокрема, в частині розробки інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем застосування методів цифрового опрацювання дозволяє зменшити застосування компонентів з нелінійними характеристиками. В ході формування вимірювальних даних спостерігається вплив різного роду спотворень як на сенсорний елемент, так і на схемні рішення засобів перетворення та передачі даних, що приводить до втрати точності [1]. Іншою проблемою є необхідність збереження інформаційної продуктивності згаданих систем. Оскільки використання цифрових методів опрацювання традиційно потребує залучення пам'яті для збереження проміжних значень сигналу над якими проводяться відповідні операції перетворення. Фактично розмір такої пам'яті визначає величину затримки вихідного сигналу засобу цифрового опрацювання.

Для випадків реалізації інформаційно-вимірювальних каналів, які не зазнають суттєвого впливу завад і спотворень часто використовують аналогові реалізації методів попереднього опрацювання сигналів. Найбільшого поширення набули аналогові фільтри різних типів: низьких та високих частот, режекторні, смугові. Однак використання нелінійних елементів, ємності, індуктивності тощо погіршує експлуатаційні характеристики таких реалізацій в експлуатаційних умовах. Застосування методів цифрового опрацювання в багатьох випадках дозволяє забезпечити відповідну ефективність опрацювання сигналів при залученні цифрових платформ з обмеженими обчислювальними ресурсами.

При проектуванні інформаційно-вимірювальних каналів використовуються первинні перетворювачі, що забезпечують формування електричних сигналів, які оцифровують для подальшого опрацювання. Сенсори згаданих пристроїв перетворюють величину, яка контролюється (тиск, температура, витрата, частота, швидкість, переміщення, електрична напруга, електричний струм тощо) у сигнал (електричний, оптичний, пневматичний), зручний для вимірювання, передавання, перетворення, зберігання та реєстрації інформації про стан об'єкта вимірювання. В подальшому отримані величини (напруга, струм, частота тощо) потребують використання АЦП, що призводить до спотворень.

Однією з проблем, що виникають при проектуванні цифрових інформаційно-вимірювальних пристроїв комп'ютерних систем є забезпечення прийнятної продуктивності із збереженням точності. В такій

ситуації реалізація методів попереднього опрацювання на апаратному рівні, без залучення мікроконтролерів, дозволить забезпечити відповідну швидкість опрацювання при несуттєвих апаратних затратах, що фактично приводить до створення спеціалізованих цифрових компонентів згаданих систем.

Аналіз останніх джерел

В [2] показано, що сучасні методи, а також реалізовані на їх основі первинні перетворювачі витрати газових середовищ, використовують імпульсні, амплітудні та частотні характеристики сигналів сенсорних компонентів. Таким чином проблема використання випадкових складових сигналу вирішується не повністю. В [3] встановлено, що при використанні потокових методів попереднього опрацювання сигналів, із залученням мікроконтролерів, найменше СКВ спостерігається при використанні методу ковзної медіани в частині максимального значення шкали діапазону вимірювання. Крім того відсутність арифметичних операцій для вибору медіанного значення сигналу та реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння. Таким чином одним з варіантів реалізації цифрових компонентів попереднього опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів може бути використання програмованих логічних схем (ПЛІС).

Метою роботи є реалізація цифрового компоненту попереднього опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів на основі методу ковзної медіани трьох відліків.

Виклад основного матеріалу

В ході проведення досліджень у [4] розглянуто можливість застосування методів попереднього опрацювання сигналів первинних перетворювачів на прикладі інфрачервоного сенсора відстані SHARP 2Y0A21. Проаналізовано можливість застосування ковзних методів опрацювання, що ґрунтуються на статистичному оцінюванні послідовних фрагментів сигналу сенсора і практично не зменшують інформаційної продуктивності. Розглянуто статистичні оцінки, зокрема ковзні значення середнього, медіани та рекурсивного фільтру першого порядку з різними параметрами. На рисунку 1 надано графік експериментально отриманих даних для відстані 500 мм і різних частот формування вимірювальних сигналів. Як можна побачити, вихідні дані характеризуються наявністю випадкових відхилень, які зумовлюють СКВ в межах від 29 до 40.

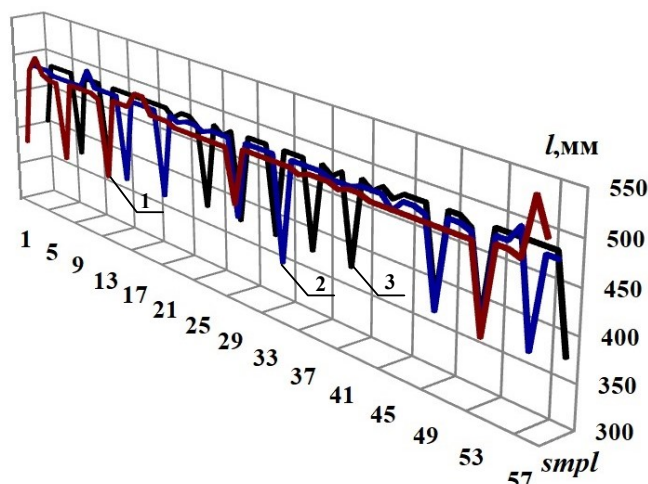


Рис. 1. Фрагмент сигналів АЦП (smpl) до опрацювання методом медіани для відстані 500 мм при частотах формування даних (кГц): 1 – 38,5; 2 – 76,9; 3 – 153,8

Авторами роботи [4] встановлено, що при використанні потокових методів попереднього опрацювання найменше СКВ спостерігається в частині максимального значення шкали діапазону вимірювання для методу ковзної медіани. Крім того, відсутність арифметичних операцій та реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння, що робить такий метод більш ефективним порівняно з іншими розглянутими методами. Ковзна медіана – функція, значення якої в кожній точці визначення чисельно дорівнює медіані значень вихідної функції за встановлений період [5].

В ході проведення роботи на основі досліджень [4] запропоновано алгоритм опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів за допомогою методу медіани, блок-схема якого подана на рис. 2. Алгоритм реалізовано на програмованих логічних схемах (ПЛІС), що дозволяють описати логіку роботи цифрового пристрою. При реалізації алгоритму використано метод ковзної медіани з 3 значень, за якого медіана визначається в ковзному вікні, тобто середнє значення рівня у межах вікна замінюється медіаною рівнів у вікні. Реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння та відповідно спростити опис схеми роботи методу.

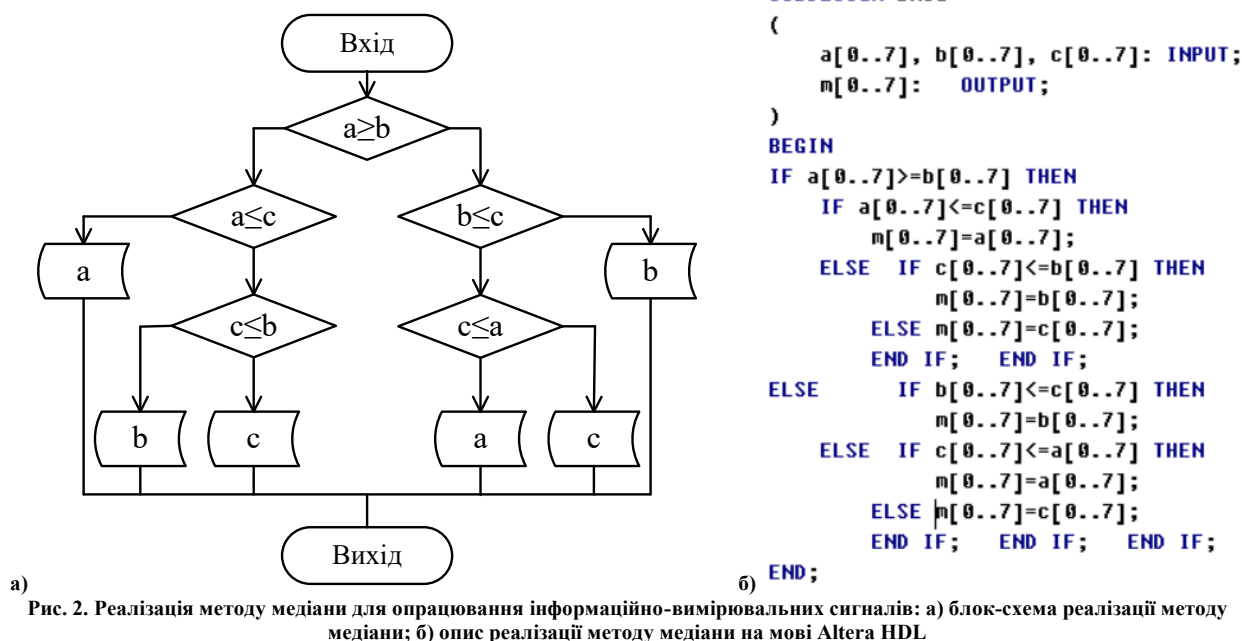


Рис. 2. Реалізація методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів: а) блок-схема реалізації методу медіани; б) опис реалізації методу медіани на мові Altera HDL

Отже, запропоновані алгоритмічні рішення реалізації методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів не потребують складних програмних рішень, що дозволяє ефективно залучати типові схемні рішення. Платформа ПЛІС дозволяє здійснювати опис логіки пристрою на основі мови, що схожа до типових мов програмування. В такій ситуації реалізація цифрових пристроїв спеціалізованого призначення суттєво спрощується з погляду розробки. В поданій реалізації (рис. 2, б) методу ковзної медіани 3 відліків, які представлені однобайтними величинами, відповідно вхідні шини “a”, “b”, “c” реалізовано на мові Altera HDL.

Результати моделювання в чисельному експерименті реалізованого алгоритму ковзної медіани для попередньо розглянутого фрагменту даних первинного перетворювача SHARP 2Y0A21 надано на рис. 3.

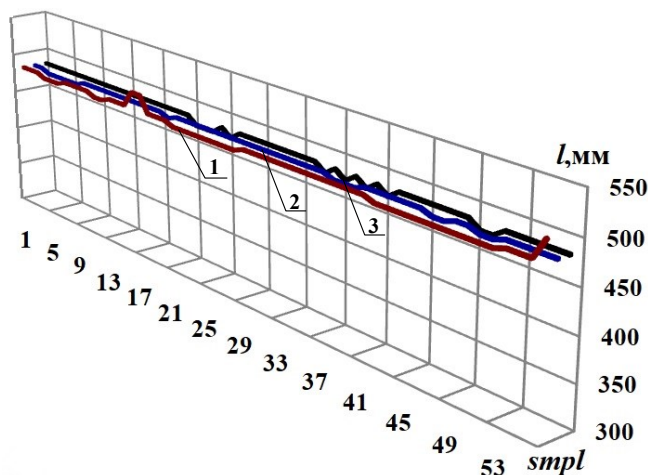


Рис. 3. Фрагмент сигналів АЦП (smpl) після опрацювання методом медіани для відстані 500 мм при частотах формування даних (кГц): 1 – 38,5; 2 – 76,9; 3 – 153,8

Як можна побачити з рисунку 3, після застосування методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів спостерігається згладжування отриманої кривої, що дозволяє ефективніше опрацьовувати експериментально отримані дані. СКВ для опрацьованих даних представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати обчислення СКВ для різної частоти формування відліків		
Частота, кГц	СКВ	
	без опрацювань	метод ковзної медіани
38,46154	29,60230	5,82106
76,92308	35,32696	1,99492
153,8462	40,56727	3,58757

Реалізація блоку CntControl мовою AlteraHDL матиме вигляд, див. рис. 4, а. Результати функціонального моделювання, у вигляді фрагментів часових діаграм вхідних та вихідних сигналів (у середовищі Altera MAX+plusII, WaveForm Editor), надано на рис. 4, б.

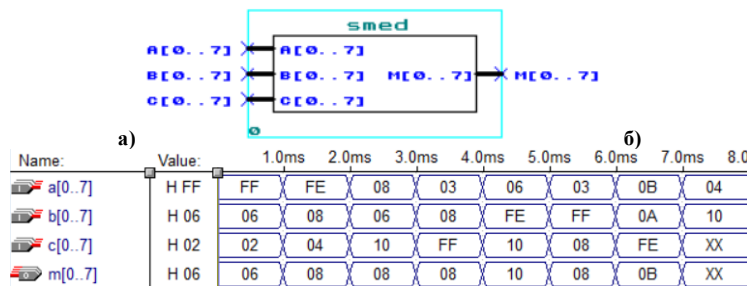


Рис. 4. Реалізація методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів: а) компонент реалізації методу медіани; б) результати функціонального моделювання

Слід зазначити, що згадана платформа не є інкапсульованою і дозволяє здійснювати опис логіки роботи цифрового пристрою як у вигляді схем логічних з'єднань так і вигляді текстових описів мовою AlteraHDL, VHDL, Verilog [6]. Крім того, системи автоматизованого проектування на ПЛІС мають інтегровані засоби функціонального та інструментального моделювання, які дозволяють здійснити попереднє оцінювання коректності функціонування та часові параметри схемних рішень.

	m0	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7
a0	11.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/22.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns
a1	11.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns
a2	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
a3	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
a4	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
a5	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
a6	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
a7	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns
b0	12.5ns/17.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns
b1	11.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns
b2	17.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/26.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns
b3	17.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns
b4	17.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns
b5	22.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	12.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns
b6	22.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	12.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns
b7	22.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	12.5ns/35.5ns
c0	11.5ns/12.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns
c1	11.5ns/17.5ns	12.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns
c2	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	11.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
c3	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
c4	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
c5	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
c6	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
c7	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns

Рис. 5. Результати інструментального моделювання модуля sMed для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів

В ході інструментального моделювання, результати якого подано на рисунку 5, встановлено, що найбільший час, що потрібен на опрацювання сигналів модулем sMed не перевищує 35.5 нс.

Висновки

На основі проведених досліджень запропоновано нескладну алгоритмічну і, як наслідок, схему реалізацію методу ковзної медіани засобами ПЛІС на мові опису функціонування логіки мовою Altera HDL. Простота описаного методу, відносно нескладна запропонована апаратна реалізація, висока швидкодія опрацювання, а також використання типових цифрових платформ роблять застосування такого методу ефективним рішенням в частині реалізації компонентів попереднього опрацювання сигналів інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем.

Література

1. Наконечний А. Й. Цифрова обробка сигналів : навч. посібник / А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 368 с.
2. Мануляк І.З. Методи та засоби формування інформаційно-вимірювальних сигналів в первинних перетворювачах витрати газу / Мануляк І.З., Мельничук С.І. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2015. – № 3(54). – С. 156–159.
3. Мануляк І.З. Алгоритмічні та схемотехнічні засоби опрацювання сигналів імпульсного

первинного перетворювача за оцінками інформаційної ентропії / Мануляк І.З., Мельничук С.І. // Український міжвідомчий науково-технічний збірник Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2016. – Випуск 50. – С. 128–136.

4. Мануляк І.З. Застосування методів попереднього опрацювання сигналів зі збереженням інформаційної продуктивності джерел даних / І.З. Мануляк, С.І. Мельничук // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Технічні науки. – 2021. – № 1. Том 32(71). – С. 117–122.

5. Камінський Р.М. Порівняння методів згладжування часових рядів за критерієм відношення медіан // Камінський Р.М., Дмитрів Г.Р. // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. – 2009. – № 653. – С. 263.

6. Стешенко В. Плис фирмы «ALTERA». Элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры / В. Стешенко. – ДМК-Пресс, 2015. – 576 с.

References

1. Nakonechnyi A. Y. Tsyfrova obrobka syhnaliv : navch. posibnyk / A. Y. Nakonechnyi, R. A. Nakonechnyi, V. A. Pavlysh. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2010. – 368 s.

2. Manuliak I.Z. Metody ta zasoby formuvannia informatsiino-vymiriuvalnykh syhnaliv v pervynnykh peretvoriuvachakh vytraty hazu / Manuliak I.Z., Melnychuk S.I. // Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – 2015. – № 3(54). – С. 156–159.

3. Manuliak I.Z. Alhorytmichni ta skhemotekhnichni zasoby opratsiuvannia syhnaliv impulsnoho pervynnoho peretvoriuvacha za otsinkamy informatsiinoi entropii / Manuliak I.Z., Melnychuk S.I. // Ukrainnyi mizhvidomchyi nauko-tekhnichnyi zbirnyk Avtomatyzatsiia vyrobnychkh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni. – 2016. – Vypusk 50. – С. 128–136.

4. Manuliak I.Z. Zastosuvannia metodiv poperednoho opratsiuvannia syhnaliv zi zberezhenням informatsiinoi produktyvnosti dzherel danykh / I.Z. Manuliak, S.I. Melnychuk // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 1. Том 32(71). – С. 117–122.

5. Kaminskyi R.M. Porivniannia metodiv zghladzhuvannia chasovykh riadiv za kryteriiem vidnoshennia median // Kaminskyi R.M., Dmytriv H.R. // Visnyk natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”. – 2009. – № 653. – С. 263.

6. Steshenko V. Plis firmy «ALTERA». Ehlementnaya baza, sistema proektirovaniya i yazyki opisaniya apparatury / V. Steshenko. – DМК-Press, 2015. – 576 s.

МАНУЛЯК І.З.

ORCID ID: 0000-0002-0072-1532

manulyak-iryna@ukr.net

МЕЛЬНИЧУК С.І.

ORCID ID: 0000-0002-6973-4235

stenni@ukr.net

ВАЩИШАК С.П.

tatokit64@gmail.com

РУДАК С.М.

rudaksm@ukr.net

Надійшла/Paper received : 09.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО,
С.Г. НАТРОШВІЛІ, Т.І. КУЛІК, С.А. ДЕМІШОНКОВА
Київський національний університет технологій та дизайну

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИМІЩЕНЬ

В статті проведено аналіз сучасних тенденцій, пов'язаних з технологіями «Розумний будинок». Розглянуті питання мов програмування мікроконтролерів та мікропроцесорів. Представлені програмні продукти, які використовуються для створення мобільних додатків до смартфонів або планшетів. Розглянута комп'ютерна система для дистанційного керування освітленням приміщень. Схематично показана конструкція та принцип її дії. Описаний дослідний зразок комп'ютерної системи, який має наступні функції: 1) Керування, вмикання/вимикання, системи освітлення в залежності від потреб власника приміщення. 2) Передача інформації про рівень освітленості до користувача, власника приміщення. 3) Автоматичне вмикання/вимикання електричних, електролюмінісцентних джерел світла, які входять у систему керування освітленням приміщення. Показана фотографія дослідного зразка. Представлено принцип дії програми керування системою на основі використання фото резистора. Мікроконтролер Arduino отримує та обробляє інформацію з фоторезистора, на основі якої автоматично відправляє сигнали до системи керування освітленням приміщень. Наведено формули, за якими були проведені розрахунки освітленості, використовуючи результати даних отриманих з фоторезистора дослідного зразка. Оброблена інформація, за допомогою бездротових мереж, поступає на інтерактивні прилади користувача, який може дистанційно перевіряти значення освітленості та за необхідністю керувати нею. Представлено візуальний інтерфейс мобільного додатку для мобільних телефонів та планшетів, які використовують операційну систему Android. Розглянута та проаналізована комп'ютерна система для керування освітленням приміщень, яка є зручною у використанні та не потребує значних грошових витрат. У роботі використані методи моделювання, спостереження та дослідження комп'ютерних систем. Отримані результати дозволяють отримати ефективну комп'ютерну систему для дистанційного керування освітленням приміщень.

Ключові слова: мікроконтролер, Arduino, освітлення, освітленість, бездротові мережі.

D.V. STATSENKO, B.M. ZLOTENKO, S.G. NATROSHVILI, T.I. KULIK, S.A. DEMISHONKOVA
Kyiv National University of Technologies and Design

COMPUTER SYSTEM FOR CONTROLLING INDOOR LIGHTING

The analysis of modern tendencies related to "Smart House" technologies is carried out in this article. The questions of programming languages of microcontrollers and microprocessors are considered. Software products that are used to create mobile applications for smartphones or tablets are presented. A computer system for remote control of room lighting is considered. The design and principle of its operation are shown schematically. A prototype of a computer system that has the following functions: 1) Control, on / off, lighting systems, depending on the needs of the owner of the premises. 2) Transfer of information about the level of illumination to the user, the owner of the premises. 3) Automatic switching on / off of electric, electroluminescent light sources, which are included in the room lighting control system. Photo of the prototype is shown. The principle of operation of the system control program based on the use of a photoresistor is presented. The Arduino microcontroller receives and processes information from the photoresistor, on the basis of which it automatically sends signals to the room lighting control system. The formulas for calculating the illumination using the results of the data obtained from the photoresistor of the prototype are given. The processed information, using wireless networks, goes to the interactive devices of the user, who can remotely check the value of illumination and, if necessary, control it. The visual interface of a mobile application for mobile phones and tablets using the Android operating system is presented. A computer system for controlling the lighting of premises, which is easy to use and does not require significant financial costs, is considered and analyzed. The methods of modeling, observation and research of computer systems are used in the work. The obtained results allow obtaining an effective computer system for remote control of indoor lighting.

Keywords: microcontroller, Arduino, lighting, illumination, wireless networks.

Вступ

Останнім часом кількість електричних побутових пристроїв, які люди використовують у повсякденному житті з кожним днем зростає. Відповідно до чого постають питання пов'язані з надійністю та ефективністю електричних мереж будинків, приміщень. Комп'ютерні системи «Розумного будинку» можуть контролювати та оптимально розподіляти навантаження всієї мережі. Це, в свою чергу, дозволяє знизити грошові витрати, підвищити строк експлуатації електричних побутових приладів та енергоефективність всієї мережі. За допомогою комп'ютерних систем можна плавно змінювати напругу у мережі, відповідно до чого, регулювати рівень освітленості приміщень [1–3].

Технології «Розумного будинку», пов'язані з освітленням, дозволяють автоматизувати багато процесів і зробити перебування у приміщенні комфортним та зручним. Керування освітленням традиційним способом, за допомогою звичайних вимикачів, призводить до збільшення витрат при установці, нагромадженню обладнання і надмірної незручності при керуванні [4]. На сьогодні існують дві системи керування освітленням: локальна та глобальна. Локальна, загалом, використовуються у приміщеннях, де кімнати виконують власні функції. Глобальна, у свою чергу, передбачає комплексну інтеграцію всіх елементів системи, керування якими відбувається з єдиної панелі. Технології «Розумний дім» дозволяють керувати наступними елементами системи:

- енергопостачанням – перемикання приладів відбувається в режим економії енергоспоживання (в залежності від сезону та часу доби), зниження витрат на електроенергію 30%; окремі енергоощадні системи, в даному випадку не використовуються;
- освітленням приміщень – розмежування освітлення на декілька груп, можливість дистанційного керування світлом в приміщеннях з будь-якої кімнати;
- освітленням в залежності від пори року і доби – автоматичне вмикання освітлення у темний період, в залежності від ступеня інтенсивності розсіяного світла, відбувається плавна зміна рівню внутрішнього освітлення;
- «Прохідними» зонами – використовуються датчики руху для визначення положення людини у приміщенні для освітлення окремих ділянок;
- світловими сценаріями – в залежності від умов регулюється освітлення всередині приміщення;
- освітленням зовнішньої території приміщень – світлові сценарії підсвічування доріжок, фасаду будівлі, саду залежно від умов;
- світлодіодним освітленням – імітація заходу/сходу сонця в будинку. Можливість вибору будь-якого кольору і відтінку для освітлення і змінити його через певний час, наприклад, для робочого режиму у приміщенні – холодні, для режиму «відпочинку» – теплі тони.

Систему керування освітленням «Розумного будинку» можна синхронізувати з іншими видами обладнання. Одним з найбільш популярних видів синхронізації є з'єднання систем для штучного і природного світла [4–6].

Сьогоднішні досягнення в галузі електроніки та комп'ютерних технологій відкривають все нові і нові перспективи для створення і застосування приладів, спроектованих на мікроконтролерах і мікропроцесорах, в самих різних сферах людської діяльності. Розробка програмної частини систем на базі мікропроцесорів та мікроконтролерів займає велику частку часу в процесі проектування. Продуктивність додатків, написаних мовою високого рівня, навіть на такому потужному, як C++, буде істотно залежати від того, наскільки добре розробник розуміє програмну архітектуру і володіє основами програмування на нижньому рівні. Програмування мікроконтролерів на базі AVR відбувається, загалом, у програмі AVR Studio. Вона дозволяє створювати, транслювати та налагоджувати проекти на мові C / C++ [7, 8].

Мобільні пристрої стали невід'ємною частиною нашого життя, і їх інтеграція з різними приладами стала нормою. Сьогоднішній світ такий, що багато звичні дії давно виконує не через безпосередню інтеракцію, а віддалено через смартфон. Відповідно "Розумний будинок" – саме та сфера, де інтеграція з мобільними пристроями особливо необхідна. Для створення мобільних додатків, в залежності від операційної системи смартфона чи планшета, існує велика кількість програм, однією з них є Android Studio. Це нове середовище розробки додатків для пристроїв, що працюють під операційною системою Android. Останнім часом для цих цілей Android розробники в основному використовують Eclipse. Android Studio доступний для операційних систем Windows, Mac OS X і Linux на офіційному сайті розробника [9]. Процес розробки додатків в новому середовищі став більш гнучким ніж в Eclipse. Розширені можливості розробки та тестування Android додатків робить Android Studio відмінним інструментом для написання програм для різних пристроїв на ОС Android (телефони, смартфони, планшети, Google TV інше).

Постановка задачі

Метою даної роботи є створення та перевірка комп'ютерної системи, яка може бути використана для керування освітленням приміщення. Представлена комп'ютерна система за допомогою бездротового персонального зв'язку через Bluetooth, за допомогою мобільного додатку, дозволяє зручно керувати різними ділянками системи освітлення приміщення. Розглянута комп'ютерна система дешева та проста у реалізації. Візуально, графічний інтерфейс користувача такої системи зручний у використанні.

Результати дослідження

В залежності від пори року, часу дня, інтенсивності зовнішнього освітлення величина освітленості у приміщенні буде змінюватись. У даній роботі розглянута комп'ютерна система, яка дозволяє отримувати, передавати, обробляти інформацію отриману з сенсорів та, в залежності від програми, відправляти сигнали для керування або регулювання електричних, електролюмінесцентних джерел світла.

На даному етапі роботи, на базі кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, зроблено мобільний додаток до телефона чи планшета для дистанційного керування системи освітлення. Також зроблено дослідний зразок комп'ютерної системи, який має наступні функції:

1. Керування, вмикання/вимикання, системи освітлення в залежності від потреб власника приміщення.
2. Передача інформації про рівень освітленості до користувача, власника приміщення.
3. Автоматичне вмикання/вимикання електричних, електролюмінесцентних джерел світла, які входять у систему керування освітленням приміщення.

Структурна схема дослідного зразка комп'ютерної системи наведена на рис. 1.

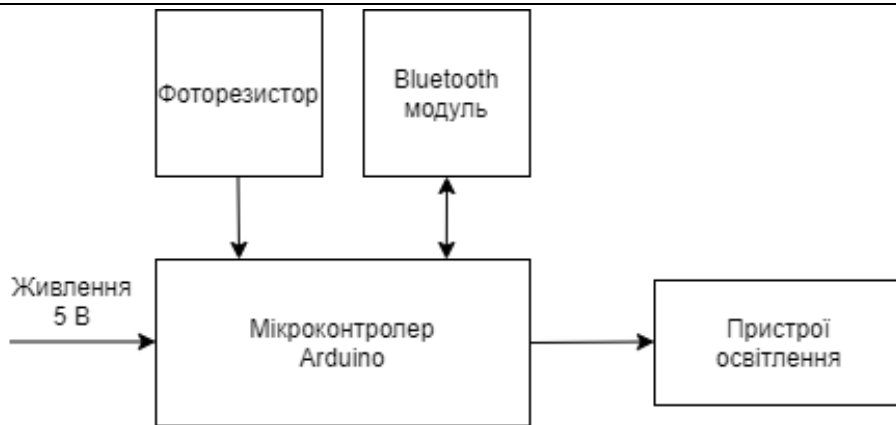


Рис. 1. Структурна схема дослідного зразку

В роботі використані наступні пристрої: 1) Мікроконтролер Arduino Uno; 2) Фоторезистор KY-018; 3) Bluetooth модуль HC-05; 4) Світлодіод, в якості електричного елементу джерела світла дослідного зразка. На рис. 2 показана фотографія дослідного зразка.

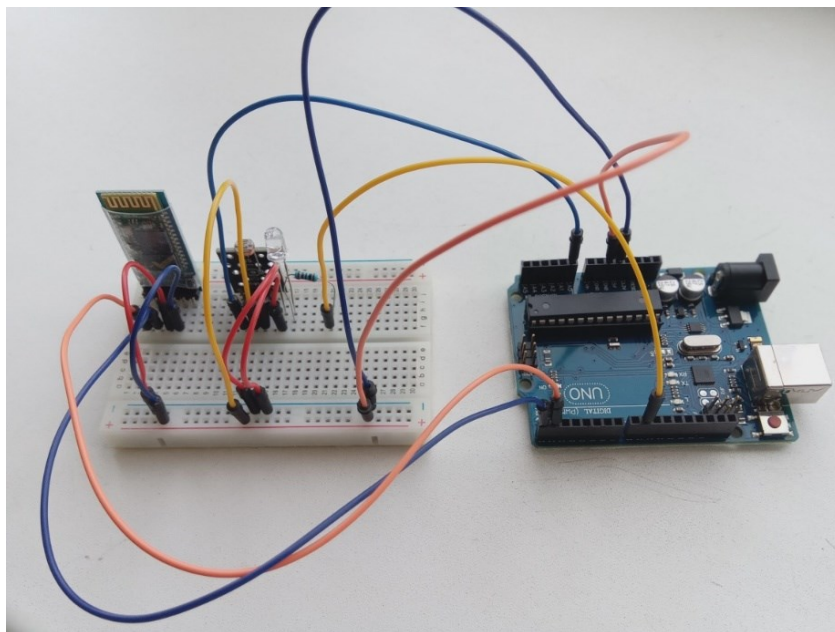


Рис. 2. Фотографія дослідного зразка

Дослідний зразок має декілька режимів роботи.

Принцип дії першого режиму роботи полягає в наступному, власник приміщення за допомогою свого мобільного пристрою, відправляє сигнал вимикання системи керування на Bluetooth модуль, який передає його на мікроконтролер. Після чого всі під'єднані до системи освітлення пристрої вимикаються і не вмикаються до того моменту, поки користувач, не відправить сигнал вмикання системи керування освітленням зі свого телефона чи планшета.

Принцип дії другого режиму роботи, після того, як Bluetooth модуль отримав сигнал вмикання та передав його на мікроконтролер, буде наступним. Фоторезистор, самостійно не може виконувати розрахунки, але його сигнали приймаються та обробляються мікроконтролером. Сигнальний вихід фоторезистора під'єднується на аналоговий вхід мікроконтролера. У мікросхемі контролера, напруга з фоторезистора перетворюється в цифрові дані за допомогою АЦП. Оскільки опір датчика при попаданні на нього світла зменшується, то і значення падіння напруги буде зменшуватися. Але в залежності від з'єднання та моделі фоторезистора, в одному випадку, максимальне значення напруги буде відповідати темряві (опір фоторезистора максимальний), а мінімальне – високому рівню освітлення (значення опору близьке до нуля, напруга мінімальна), а в іншому – навпаки. Після цього, отримані дані обробляються і, в залежності від програми, мікроконтролер автоматично відправляє сигнал на вмикання/вимикання елементів освітлення, в залежності від інтенсивності світла.

Також, під час другого режиму роботи, користувач, за допомогою мобільного додатку, може отримати інформацію про рівень освітленості. Для цього в програму, завантажену у мікроконтролер, додані формули для розрахунку освітленості, при відомих значення напруги та опору.

Як вже було зауважено, фоторезистор, не є вимірювальним пристроєм, визначити значення в люкс стає складніше. Для вирішення цього використовуються приблизна формула та числа з плаваючою комою.

Числа з плаваючою комою в мові Сі є *float* і *double* типу, якими можна представляти дробові числа. Їх недоліком є досить велика потреба в ресурсах. У комп'ютерах для їх обчислення є спеціальне апаратне забезпечення, для 8-бітного мікроконтролера AVR обчислення робляться в програмному забезпеченні, що займає досить багато програмної пам'яті і часу. Якщо недоліки не важливі, то числа з плаваючою комою варто використовувати [8].

Про взаємозв'язок між освітленістю і електричним опором фоторезистора дається приблизна формула в специфікації датчика. Спираючись на відомі взаємозв'язки між освітленістю та електричним опором фоторезистору, на логарифмічній шкалі освітленість і опір знаходяться приблизно в лінійній залежності і утворюють пряме рівняння, тому що застосовується наступне перетворення:

$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b) \quad (1)$$

Якщо виміряти опір датчика (R_B), то можна з рівняння лінії обчислити освітленість (E_B) падаючу на датчик. Висловимо рівняння лінії E_B :

$$\log(E_B) = \frac{\log\left(\frac{R_A}{R_B}\right)}{\gamma} + \log(E_A) \quad (2)$$

$$E_B = 10^{\frac{\log\left(\frac{R_A}{R_B}\right)}{\gamma} + \log(E_A)} \quad (3)$$

Таким чином, є формула для обчислення освітлення, якщо опір відомо. Опір безпосередньо мікроконтролера виміряти неможливо, для цього фоторезистор знаходиться у подільнику напруги, вихідну напругу якого переводить АЦП. Для знаходження опору, в першу чергу, необхідно визначити з значення АЦП вихідну напругу (U_2), напругу дільника, враховуючи і порівняну напругу (U_{ref}) перетворювача. Формула наступна:

$$U_2 = U_{ref} \cdot (ADC / 1024) \quad (4)$$

З формули подільника напруги (дивись главу подільника напруги) можна знайти в схемі верхнього фоторезистора опір (R_1):

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot U_1}{U_2} - R_2 \quad (5)$$

За допомогою цих формул та отриманих значень, можна використовувати тільки фоторезистори даної моделі, які використовуються в представленій роботі, для розглянутого дослідного зразка. При використанні схеми з іншими компонентами доведеться змінити в формулах відповідні числові значення.

Додатково зроблено мобільний додаток до мобільного телефону чи планшета на базі операційної системи Android рис.3.

Даний мобільний додаток має декілька функціональних кнопок, а саме: 1) кнопка «Connect» відповідає за під'єднання мобільного телефону чи планшета до комп'ютерної системи через Bluetooth модуль; 2) кнопка «1 режим роботи» – вмикає систему керування освітленням; 3) кнопка «2 режим роботи» – вмикає систему керування освітленням; 4) кнопка «Рівень освітленості» – відображає значення освітленості в даний момент часу.

Висновки

Розглянута комп'ютерна система для керування освітленням приміщень на основі використання мікроконтролера Arduino з дистанційним зв'язком та керуванням через Bluetooth. Розроблена комп'ютерна система, представлена дослідним зразком, має два режими роботи, а також зручний візуальний інтерфейс зроблений у вигляді мобільного додатку до телефону чи планшета.

Література

1. Гандзюк М. П. Основи охорони праці : підручник / за ред. М.П. Гандзюка. – 5-е вид. – К. : Каравела, 2011. – 384 с.
2. Голінько В.І. Основи охорони праці : підручник / В.І. Голінько ; Мін-во освіти і науки України;

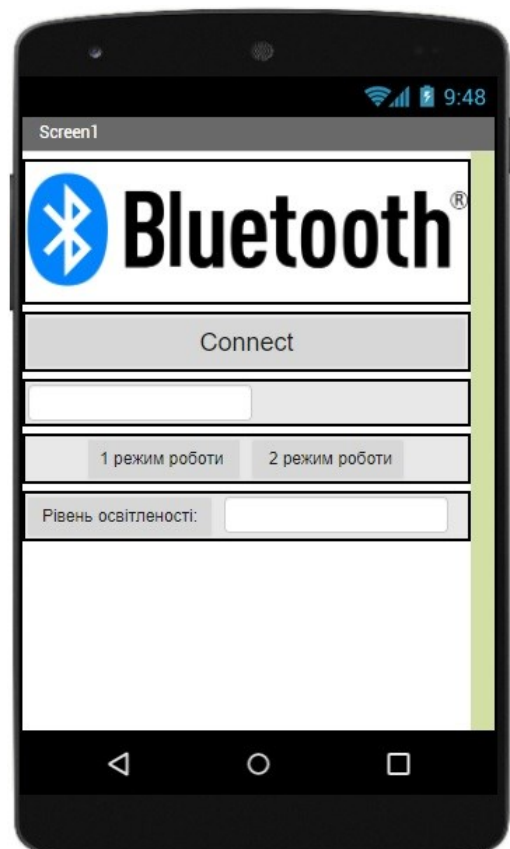


Рис. 3. Візуальний інтерфейс мобільного додатку

Нац. гірн. ун-т. – 2-е вид. – Д. : НГУ, 2014. – 271 с.

3. Дементьев А. «Умный» дом XXI века / А. Дементьев. – М. : Издательские решения, 2016. – 100 с.

4. Грінгард С. Интернет речей / пер. з англ. О. А. Герасимчук. – К. : Книжковий Клуб "Клуб Сімейного Дозвілля", 2018. – 176 с. – ISBN 978-617-12-4657-7

5. Злотенко Б. М. Комп'ютерна енергоефективна система керування опаленням та гарячим водопостачанням будівель / Б.М. Злотенко, Д.В. Стаценко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2019. – № 4. – С. 34–41.

6. Злотенко Б. М. Вдосконалення енергоефективної системи керування освітленням і температурою приміщень / Б. М. Злотенко, Д. В. Стаценко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2017. – № 5 (253). – С. 240–243.

7. Магда Ю. С. Программирование и отладка C/C++ приложений для микроконтроллеров ARM / Ю. С. Магда – М. : ДМК Пресс, 2012. – 168 с.

8. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств. Книга + CD с видеокурсами, листингами, программами, драйверами, справочниками / А.В. Белов. – СПб : Наука и Техника, 2016. – 544 с.

9. Страуструп Б. Программирование. Принципы и практика с использованием C++ / Б. Страуструп. – М. : Вильямс, 2016. – 1328 с.

10. Android Studio. Android Developers. URL: <https://developer.android.com/studio>

References

1. Handziuk M. P. Osnovy okhorony pratsi : pidruchnyk / za red. M.P. Handziuka. – 5-e vyd. – K. : Karavela, 2011. – 384 s.

2. Holinko V.I. Osnovy okhorony pratsi : pidruchnyk / V.I. Holinko ; Min-vo osvity i nauky Ukrainy; Nats. him. un-t. – 2-e vyd. – D. : NHU, 2014. – 271 s.

3. Dement'ev A. «Umyny» dom XXI veka / A. Dement'ev. – M. : Izdatel'skie resheniya, 2016. – 100 s.

4. Hrinhard S. Internet rechei / per. z anhl. O. A. Herasymchuk. – K. : Knyzhkovyi Klub "Klub Simeinoho Dozvillia", 2018. – 176 s. – ISBN 978-617-12-4657-7

5. Zlotenko B. M. Kompiuterna enerhoefektyvna systema keruvannia opalenniam ta hariachym vodopostachanniam budivel / B.M. Zlotenko, D.V. Statsenko // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2019. – № 4. – S. 34–41.

6. Zlotenko B. M. Vdoskonalennia enerhoefektyvnoi systemy keruvannia osvittlenniam i temperaturoiu prymishchen / B. M. Zlotenko, D. V. Statsenko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 5 (253). – S. 240–243.

7. Magda YU. S. Programmirovanie i otladka S/S++ prilozhenij dlya mikrokontrollerov ARM / YU. S. Magda – M. : DМК Press, 2012. – 168 s.

8. Belov A.V. Mikrokontrollery AVR: ot azov programmirovaniya do sozdaniya prakticheskikh ustrojstv. Kniga + CD s videokursami, listingami, programmami, drajverami, spravochnikami / A.V. Belov. – SPb : Nauka i Tekhnika, 2016. – 544 s.

9. Strastrup B. Programmirovanie. Principy i praktika s ispol'zovaniem C++ / B. Strastrup. – M. : Vil'yams, 2016. – 1328 s.

10. Android Studio. Android Developers. URL: <https://developer.android.com/studio>

Надійшла/Paper received : 16.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

МЕТОД РАНЖУВАННЯ НА ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВИХ САЙТАХ

В статті розглянуто принципи роботи всеукраїнського довідкового сайту. Розглянуто формулу розрахунку шахового рейтингу Ело. Запропоновано модифікацію формули рейтингу Ело, в якій використовується інтегрований показник, що включає кількість відгуків користувачів; загальну оцінку компанії; пакет послуг, що придбала компанія; термін реєстрації на сайті. Розглянуто складові інтегрованого рейтингу на сайті <https://20.ua/vn>. Розглянуто застосування інтегрованого рейтингу компаній на сайті «ТОП 20», в основу якого покладено рейтинг Ело.

Ключові слова: ранжування, рейтинг, методи, оптимізація, сайт

T.V. SICHKO

Vasyl Stus Donetsk National University

METHOD OF RANKING ON INFORMATION REFERENCE SITES

The article proposes the application of the method of objective ranking of enterprises on reference sites. The reason for the increase in the number of reference sites of enterprises is investigated. The urgent task of a modern reference portal is highlighted, which is to develop methods and information and communication tools for determining and controlling the number of responses and the overall assessment of the company, timely provision of necessary information and application processing. The main existing shortcomings of service platforms that provide the organization of the interface and communication between the client and the supplier are investigated. An analysis of recent research and publications. The works of scientists are presented, in which the methods of forming the market of rating services, ranking of enterprises and organizations of different spheres of activity were studied. Modern methods of web resources analysis are considered: SEO-audit, analysis based on web analytics, expert evaluation, ranking of organizations according to administrative data. The ranking mechanism is considered. The principles of operation of the all-Ukrainian reference site «TOP 20», which is developing rapidly and requires the introduction of analytical tools to increase its competitiveness among other reference sites. The structure of the site «TOP 20» is given. The information-analytical subsystem of the site is selected, which is one of the components and ranks companies to establish their rating. The difference between reference sites, which is the principle of ranking companies, is studied. To rank companies on the «TOP 20» website, it is proposed to use the formula for calculating the Elo chess rating. The formula for calculating the chess rating of Elo is considered. A modification of the Elo rating formula, which uses an integrated indicator, is proposed. The integrated indicator consists of: the number of user reviews; general assessment of the company; package of services purchased by the company; deadline for registration on the site. The components of the integrated rating on the «TOP 20» website are considered. The application of calculating the integrated rating of companies on the site «TOP 20», which is based on the Elo rating, is considered.

Keywords: ranking, rating, methods, optimization, site.

Постановка проблеми

На даний час основним інструментом реклами є мережа Інтернет. Цільова аудиторія підприємств все більше використовує Інтернет для отримання інформації про товари, їх наявність та ціни, відгуків про рівень обслуговування тієї чи іншої компанії. З огляду на це останнім часом спостерігається різке зростання кількості інформаційно-довідкових сайтів підприємств, спрямованих на представлення інформації споживачам, покупцям, клієнтам різноманітних послуг як в Україні, так і за кордоном. Крім представлення об'єктивної інформації стосовно тієї чи іншої компанії на інформаційно-довідкових сайтах визначається їх рейтинг. Відмінність довідкових сайтів полягає у принципі ранжування компаній. Отже, підвищення якості об'єктивного ранжування підприємств на інформаційно-довідкових сайтах потребує особливої уваги.

Актуальною задачею сучасного довідкового порталу є розроблення методів та інформаційно-комунікаційних засобів, які дозволять швидко визначати та контролювати кількість відгуків і загальну оцінку компанії, своєчасно надавати необхідну інформацію та оброблювати заявки на замовлення.

Для збору інформації про компанії, розроблені сервісні платформи, які забезпечують організацію інтерфейсу і зворотного зв'язку клієнт-постачальник. Недоліком таких платформ є те, що вони в основному виконують функцію збору даних від користувачів без професійного аналізу з використанням оплати пакетів послуг і не можуть давати рекомендації, які засновані на об'єктивній думці користувачів з урахуванням особливостей представників етнічних, гендерних та соціальних груп. До основних існуючих недоліків можна віднести наступне:

1. Кількість довідкових сайтів стрімко зростає, однак відсутній систематизований аналіз отриманих даних, оцінка їх достовірності та комплексний персоналізований підхід при визначенні та оптимізації категорій компаній, спрямованих на наданні послуг клієнтам.

3. При створенні сервісних платформ відсутній багатфункціональний підхід, який міг би забезпечити збір і аналіз даних як від окремих користувачів, так і від цільових груп, дозволив би провести аналіз відгуків і оцінок з усіх сайтів, характерних для кожної категорії підприємств і виділення загальної оцінки по сайту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Низка методик формування ринку рейтингових послуг, ранжування підприємств та організацій різних сфер діяльності (банківської сфери, сфери туристичних послуг, страхових компаній, вищих

навчальних закладів, тощо) розглянуто в публікаціях таких науковців: Бабак М. П. [1], Батковського В. А. [2], Готовчикова І. Ф. [3], Козьменко О. В. [4], Романчикова В. І. [5], Хотинської Г. І. [6], Ашера А. [7], Виноградні В. М. [8] тощо.

Що стосується розробки єдиної методології й методики рейтингового аналізу діяльності господарських одиниць, то на даний момент відбувається процес формування методологічних засад та практики рейтингового управління. Зокрема в роботі Мельник О. Г. [9] систематизовано та структуризовано способи і прийоми рейтингового оцінювання підприємств за найбільш істотними ознаками, охарактеризовано всю множину методів у цій сфері. Запропоновано низку чинників, врахування яких є першочергово необхідним у процесі вибору оптимальних методів рейтингування діяльності суб'єктів господарювання.

Щодо аналізу веб-ресурсів на сьогодні існує ряд відомих методик, а саме: SEO-аудит (search engine optimization) – аналіз просування сайту в пошукових системах і каталогах; аналіз на основі веб-аналітики – за даними систем статистики відвідувань і лог-аналізаторів; рейтинг сайтів, який встановлюється за результатами оцінки сайтів експертами; рейтинг організацій за даними, що отримуються із веб-сайтів.

Існують підходи, засновані на аналізі користувацьких переміщень. Деякі методики представляють простий експрес-аналіз, інші базуються на більш ємких і складних алгоритмах отримання підсумкових кількісних характеристик та формування на їх основі рейтингів сайтів.

Виклад основного матеріалу

Метою дослідження є розроблення методу об'єктивного ранжування підприємств на інформаційно-довідкових сайтах.

Ранжування сайту – це процес визначення порядку відповідно до рангу, авторитету, респектабельності або релевантності на основі запиту користувача. Користувач бачить результат, отримуючи відповідь пошукової системи на свій запит. Розміщення всіх сайтів у відповідному порядку і є ранжуванням. Розуміння механізму ранжування пояснює, чому схожі на перший погляд сайти за однією тематикою займають різні позиції у відповіді пошукової системи. Наприклад, один сайт знаходиться у першій десятці – в ТОПі, а інший на останній сторінці. Відповіді на наступні питання: як пошукова система проводить ранжування, кому віддає перевагу, за якими ознаками визначає «кращу» релевантність – дозволяють отримати гарний результат ранжування і потрапити в ТОП, тобто в першу десятку. Кожна пошукова система проводить ранжування за своїми методами і як результат – різні сайти потрапляють в першу десятку в різних пошукових системах.

Дослідження проводились на базі всеукраїнського інформаційно-довідкового сайту <https://20.ua/vn> («ТОП 20»), що стрімко розвивається та потребує впровадження аналітичних засобів для підвищення його конкурентоспроможності серед інших довідкових сайтів.

Проект інформаційно-довідкового сайту був створений у 2015 році. Своє існування сайт <https://20.ua/ru/vn> почав у м. Вінниці. Ідея полягала у зібранні інформації про всі компанії міста для зручності користування клієнтам у пошуку тих чи інших послуг (рис. 1).

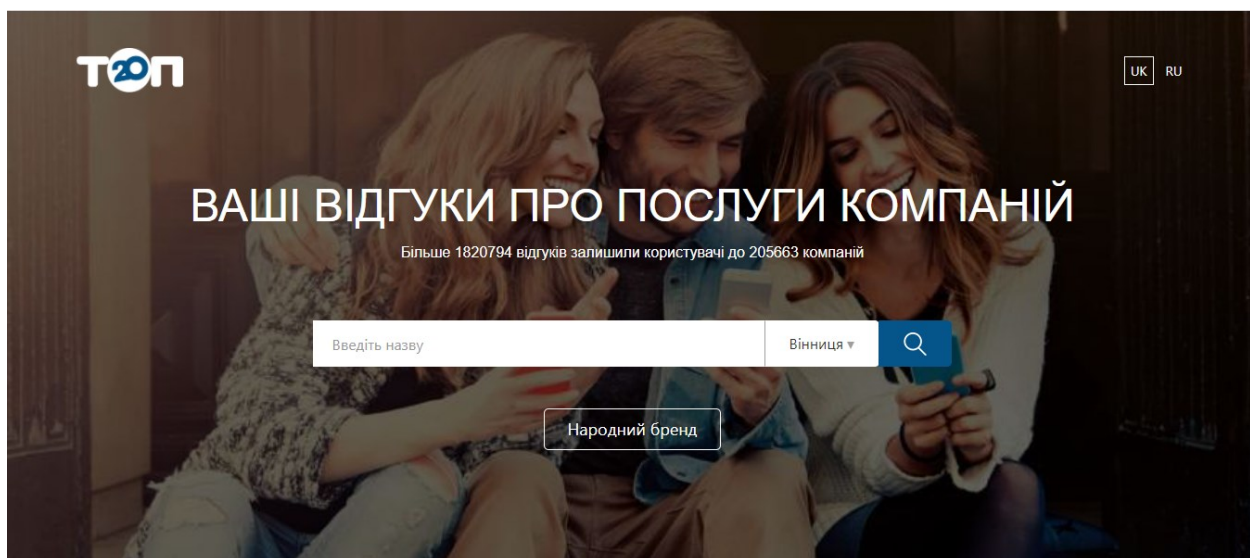


Рис. 1. Загальний вигляд сайту «ТОП 20»

Через деякий час було прийняте рішення ввести збір та аналіз відгуків на сайті для ранжування компаній у категоріях. Для цього компанії було розділено у призначені категорії за специфікою роботи (рис. 2).

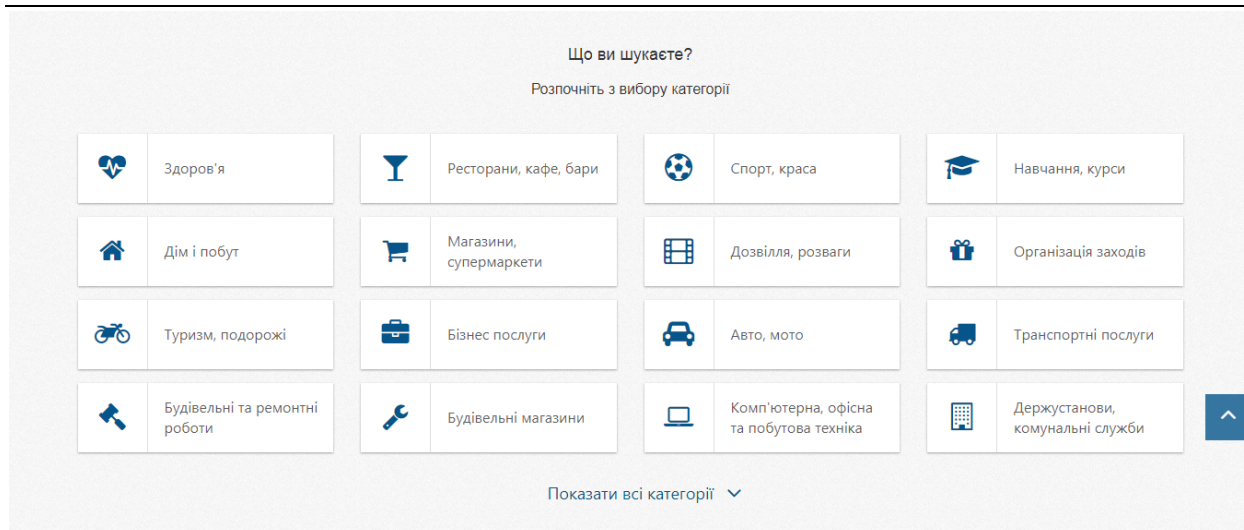


Рис. 2. Категорії компаній на сайті

Починаючи з 2016 року почалось активне обговорення компаній саме на сайті <https://20.ua/ru/vn>. Користувачі могли дізнатись про новий заклад міста, переглянувши відгуки інших клієнтів. Таким чином сайт став першим інтернет-порталом у м. Вінниці. «ТОП 20» – це сайт, який надає клієнту різні інтерактивні сервіси та працює як точка доступу до інформації про компанії у яких немає власного сайту, представляє інформацію з різних джерел загальнодоступної інформації, а також надає об'єктивну оцінку тій чи іншій компанії. У 2018 році сайт запрацював у 23 містах України і вийшов у топ Інтернет-порталів України, що стало поштовхом для розробки стратегії ранжування компаній.

Структура сайту «ТОП 20» наведена на рис. 3.



Рис. 3. Структура сайту «ТОП 20»

Однією зі складових сайту є інформаційно-аналітична підсистема, яка й здійснює ранжування компаній для встановлення їх рейтингу на сайті.

Отже, на даний момент сайт <https://20.ua/vn> посідає перше місце серед інтернет-платформ для розвитку локальних компаній в інтернет-мережі.

Відмінність інформаційно-довідкових сайтів полягає у принципі ранжування компаній. На українському ринку довідкових ресурсів, таких як: <https://list.in.ua/>, <https://www.ua-region.com.ua/>, <https://catalog.ub.ua/> використовується принцип ранжування за оплатою пакетів.

Для ранжування компаній на сайті «ТОП 20» запропоновано застосувати формулу розрахунку шахового рейтингу Ело. Система рейтингів Ело – це метод розрахунку відносної сили гравців у грі, де приймають участь двоє. Найбільше поширення система Ело отримала в шахах, починаючи з 1970 року вона є офіційною рейтинговою системою у FIDE [10]. Система Ело основана на ймовірнісному розрахунку результату матчу в залежності від поточного рейтингу гравців. Тобто ймовірність виграшу гравця з більшим рейтингом (сильнішого гравця) є більшою, ніж гравця з меншим рейтингом, і навпаки. Після завершення матчу, за реальними результатами гри та прогнозованим результатом, проводиться перерахунок рейтингів.

Розрахунок даного рейтингу відбувається наступним чином: при грі гравця А проти гравця В обчислюється математичне сподівання кількості очок, які він має набрати в цій грі за формулою:

$$E_A = \frac{1}{1 + 10 \frac{R_B - R_A}{400}}, \quad (1)$$

де E_A – математичне сподівання кількості очок, які набере гравець А у партії з В;

R_A – старий рейтинг гравця А;

R_B – старий рейтинг гравця В.

Новий рейтинг гравця А обраховується за формулою:

$$R'_A = R_A + K * (S_A - E_A), \quad (2)$$

де K – коефіцієнт, значення якого дорівнює 10 для шахістів із рейтингом вище 2400, 15 – для шахістів із рейтингом нижче 2400 і 25 – для новачків (перші 15 партій від отримання рейтингу FIDE);

S_A – фактично набрана кількість очок гравцем А;

R'_A – новий рейтинг гравця А.

Для ранжування компаній на сайті «ТОП 20» кожний відгук про компанію або клік – це певна кількість балів. Ранжування відбувається між 2 компаніями і та, яка стає на рейтинг вище вибуває з гри, а у гру вступає наступна компанія і т. д.

В основу рейтингу Ело покладено інтегрований показник, який включає: кількість відгуків користувачів; загальну оцінку компанії; пакет послуг, що придбала компанія (від 1 до 5); термін реєстрації на сайті. Розглянемо як виглядають складові інтегрованого рейтингу на сайті <https://20.ua/vn> [11]. Рейтинг однієї з компаній, зареєстрованих на сайті «ТОП 20», показано на рис. 4.

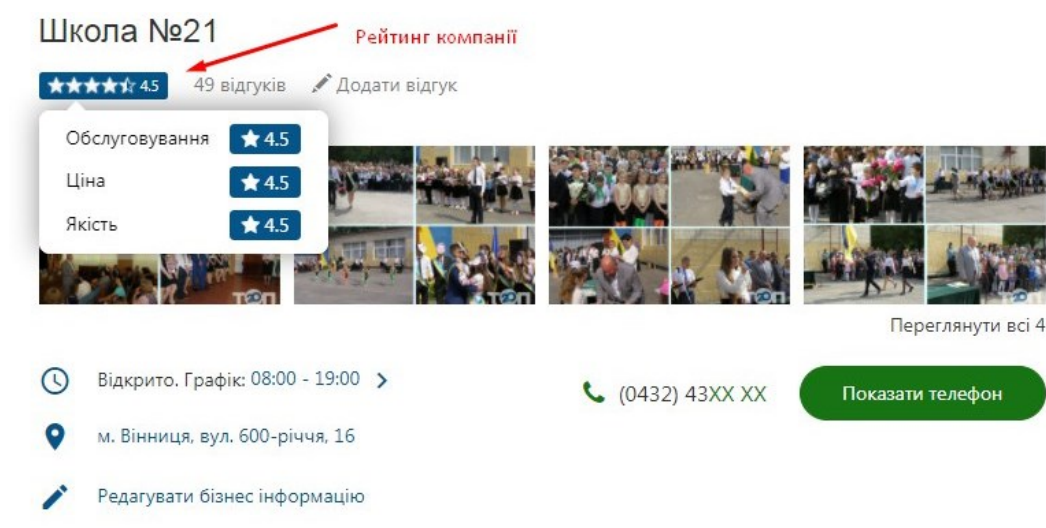


Рис. 4. Рейтинг компанії на сайті «ТОП 20»

Кількість відгуків користувачів про компанію показано на рис. 5.

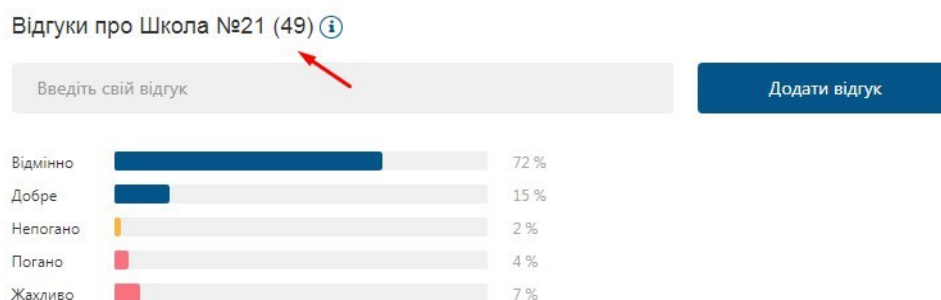


Рис. 5. Кількість відгуків про компанію на сайті «ТОП 20»

Рейтинг кожного відгуку користувача про компанію окремо рис. 6:

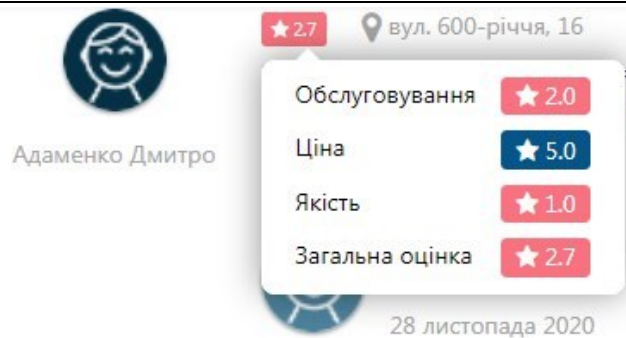


Рис. 6. Рейтинг відгуку про компанію на сайті «ТОП 20»

Чи платний пакет у компанії показано на рис. 7:

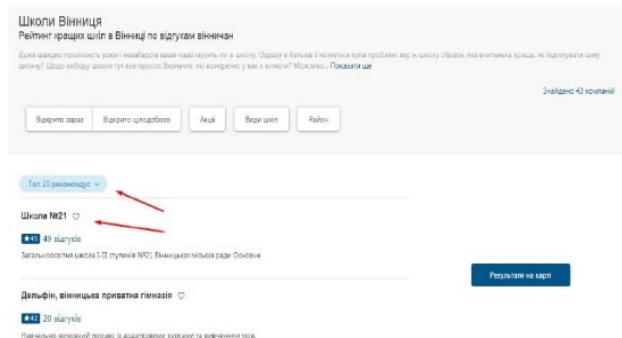


Рис. 7. Інформація про пакет послуг компанії на сайті «ТОП 20»

Отже, перераховані вище складові формують інтегрований рейтинг, який покладений в основу функціонування інформаційно-аналітичної підсистеми сайту.

Розглянемо формулу обчислення інтегрованого рейтингу компаній, в основу якої покладено рейтинг Ело. Обчислення стосуються балів рейтингу компанії А по відношенню до компанії В.

Модифікована формула буде виглядати наступним чином:

$$\mathcal{E}_{A=\frac{n}{k+t(R_A-R_B)}} \quad (3)$$

де \mathcal{E}_A – результуючий інтегрований рейтинг компанії А;

n – кількість компаній у категорії;

k – оцінка рейтингу компаній за шкалою від 1 до 5;

t – оцінка за відгуками;

R_A – інтегрований рейтинг компанії А;

R_B – інтегрований рейтинг компанії В.

Розглянемо застосування обчислення інтегрованого рейтингу компаній на сайті «ТОП 20», в основу якої покладено рейтинг Ело. Для початку потрібно обрати дві компанії між якими буде визначатись рейтинг (рис. 8).

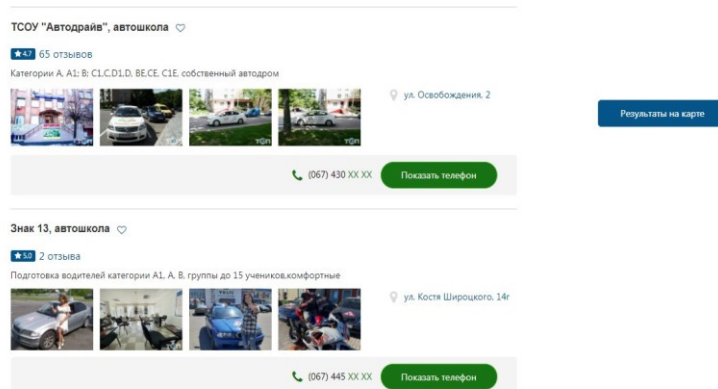


Рис. 8. Компанії для визначення рейтингу

Як видно з рисунка автошкола «Автодрайв» має менший рейтинг ніж автошкола «Знак 13», але знаходиться на першому місці. Перевіримо рейтинг для цих двох компаній за формулою (3), в якій:

E_A – новий інтегрований рейтинг автошколи «Автодрайв»;

n – кількість компаній у категорії;

k – вища оцінка за відгуками (5.00);

t – вища оцінка за рейтингом серед компаній (5.00);

R_A – рейтинг компанії «Автодрайв»;

R_B – рейтинг компанії «Знак 13».

У категорії «Автошколи» знаходиться 19 компаній (рис. 9):

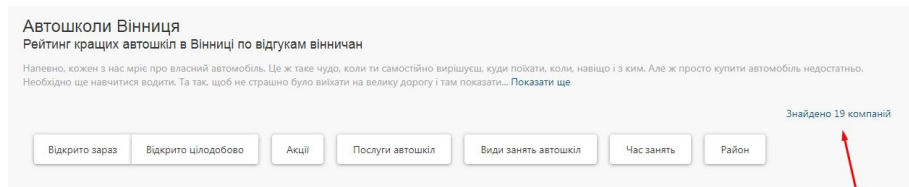


Рис. 9. Кількість компаній у категорії

Переглянемо кількість відгуків про компанії на сайті (рис. 10–11).

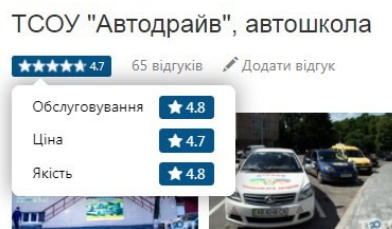


Рис. 10. Кількість відгуків на автошколу «Автодрайв»

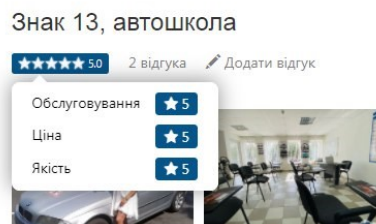


Рис. 11. Кількість відгуків на 13 автошколу

Як бачимо у автошколи «Автодрайв» більш точний рейтинг, адже враховано більше відгуків. Перевіримо розрахунок інтегрованого рейтингу за формулою (3):

$$E_A = \frac{19}{5 + 5(4,7 - 5)} = 5,43$$

Отже, інтегрований рейтинг компанії «Автодрайв» становить 5,43 з урахуванням усіх факторів. На сайті ця компанія буде знаходитись першою у своїй категорії (рис. 8), що підтверджує правильність обраної методики ранжування. З рисунку 8 видно, що у компанії може бути більший рейтинг, але місце вона буде посідати не перше через меншу кількість відгуків і загальну оцінку на сайті.

Висновки

Підвищення якості об'єктивного ранжування підприємств на довідкових сайтах потребує особливої уваги. Дослідження проводились на базі всеукраїнського довідкового сайту <https://20.ua/vn> («ТОП 20»), що стрімко розвивається та потребує впровадження аналітичних засобів для підвищення його конкурентоспроможності серед інших довідкових сайтів.

На основі дослідження принципів роботи та ранжування компаній на довідкових сайтах у статті запропоновано модифіковану формулу рейтингу Ело, в основу якої покладено інтегрований показник. У якості складових інтегрованого показника пропонується включити: кількість відгуків користувачів; загальну оцінку компанії; пакет послуг, що придбала компанія; термін реєстрації на сайті. Розраховано інтегрований рейтинг компанії, в основу якого покладено рейтинг Ело.

За результатами розрахованого інтегрованого рейтингу, в основу якого покладена модифікована формула Ело приходимо до висновку про правильність обраної методики ранжування.

Підвищення якості об'єктивного ранжування підприємств на довідкових сайтах є перспективним напрямком дослідження, результати якого сприятимуть підвищенню ефективності роботи та цінності подібних ресурсів.

Література

1. Бабак М. П. Рейтинг як комунікативна технологія пропаганди [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://journlib.univ.kiev.ua/index.php?act=article&article=1353>.
2. Батковський В. А. Рейтингова оцінка діяльності банків / В. А. Батковський // Фінанси України. – 2004. – № 5. – С. 145–151.
3. Готовчиков И. Ф. Новые технологии взвешивания рейтингов / И. Ф. Готовчиков // Банковские услуги. – 2005. – № 11. – С. 2–11.
4. Козьменко О. В. Рейтингування страхових компаній і розрахунок страхових тарифів на базі використання економіко-математичних методів : монографія / О. В. Козьменко. – Суми : ДВНЗ «УАБС НБУ», 2008. – 95 с.
5. Романчиков В. І. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / В. І. Романчиков. – К. : Центр учбової літератури, 2007. – 25 с.
6. Хотинская Г. И. Рейтинги и рэнкинги / Г. И. Хотинская, Ю. С. Карпузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.bull-n-bear.ru/investments/school.php?investments=rat_2.
7. Ашер А. Глобальные рейтинги и рейтинговые таблицы / А. Ашер, М. Савино ; пер. с англ. Б. Покатович // Вопросы образования. – 2007. – № 4. – С. 201–216.
8. Виноградня В. М. Організаційно-економічні аспекти управління вищими навчальними закладами України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis_64/Npndfi_2010_1_13.pdf.
9. Мельник О. Г. Методи рейтингування діяльності підприємств [Електронний ресурс] / О. Г. Мельник, Ю. Л. Логвиненко // Актуальні проблеми економіки. – 2012. – № 12. – С. 84–94. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2012_12_12.
10. Elo Arpad E. The Rating of Chess Players, Past and Present. Ishi Press, 2008. 224 p.
11. Січко Т.В. Інформаційні технології аналітичної складової довідкової системи діяльності компаній / Т.В. Січко, О.О. Воробей // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем : міжнар. наук.-техн. конф., 4-6 лист. 2020 р. тези доп. – Дніпро : ДВНЗ УДХТУ. – С. 204–206.

References

1. Babak M. P. Rating as a communicative technology of propaganda [Electronic resource] – Access mode: <http://journlib.univ.kiev.ua/index.php?act=article&article=1353>.
2. Batkovsky V. A. Rating assessment of banks' activity / V. A. Batkovsky // Finance of Ukraine. – 2004. – № 5. – P. 145–151.
3. Gotovchikov I. F. New technologies for weighing ratings / I. F. Gotovchikov // Banking services. – 2005. – № 11. – P. 2–11.
4. Kozmenko O. V. Rating of insurance companies and calculation of insurance rates based on the use of economic and mathematical methods: monograph / O. V. Kozmenko. – Sumy: DVNZ «YABC NBU», 2008. – 95 p.
5. Romanchikov V. I. Basics of the scientific research : tutorial / V. I. Romanchikov. – K.: Center for Educational Literature, 2007. – 25 p.
6. Khotinskaya G. I. Ratings and rankings / G. I. Khotinskaya, U. S. Karpuzov [Electronic resource]. – Access mode: http://www.bull-n-bear.ru/investments/school.php?investments=rat_2.
7. Asher A. Global Rankings and Leaderboards / A. Asher, M. Savino; trans. from Engl. B. Pokatovich // Educational issues. – 2007. – № 4. – P. 201–216.
8. Vynohradnya V. M. Organizational and economic aspects of management of higher educational institutions of Ukraine [Electronic resource] – Access mode: www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis_64/Npndfi_2010_1_13.pdf.
9. Mel'nyk O. G. Methods of rating the activities of enterprises / O. G. Mel'nyk, U. L. Lohvynenko // Current economic problems. – 2012. – № 12. – P. 84–94. – Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2012_12_12.
10. Elo Arpad E. The Rating of Chess Players, Past and Present. – Ishi Press, 2008. – 224 p.
11. Sichko T.V. Information technologies of the analytical component of the reference system of companies' activity / T.V. Sichko, O.O. Vorobey // Computer modeling and optimization of complex systems: intern. scien. – techn. conf., 4-6 novem. 2020 p. abstracts of the report. – Dnipro, DVNZ YDXTY. – P. 204–206.

Надійшла/Paper received : 04.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІЗУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПНЕВМОНІЇ

На сьогодні пневмонія є одним із поширеніших та найбільш серйозних легеневих захворювань у всьому світі. Раннє діагностування пневмонії є ключовим чинником її успішного лікування. Для розв'язання актуального завдання в галузі цифрового діагностування в цій пропонується інформаційна технологія візуального аналізу рентгенівських зображень для пояснення результатів діагностування пневмонії. В основі технології закладено модель класифікації на основі згорткової нейронної мережі для вилучення слабо виражених ознак ранньої вірусної пневмонії та модифікований метод відмінної локалізації для інтерпретації результатів класифікації. Метод інтерпретації полягає в застосуванні зважених градієнтів до мап активації класів. Подібна модифікація забезпечує відмінну локалізацію аномальних зон на рентгенограмах, що дає змогу вилучити цільові слабо виражені ознаки ранньої пневмонії. Відповідно до обчислювальних експериментів, запропонована інформаційна технологія може бути ефективним засобом для миттєвого діагностування в разі перших підозр на виявлення пневмонії.

Ключові слова: пневмонія, згорткова нейронна мережа, рентгенівське зображення грудної клітини, візуальний аналіз, мапи активації класів.

OLEXANDER BARMAK, PAVLO RADIUK

Khmelnitskyi National University

INFORMATION TECHNOLOGY OF VISUAL ANALYSIS OF X-RAY IMAGES FOR INTERPRETATION OF PNEUMONIA DIAGNOSTIC RESULTS

To date, pneumonia is one of the most common and severe lung diseases in the world. Early diagnosis of pneumonia is a crucial factor in its successful treatment. Over the last decade, automated analysis of chest X-rays has been recognized as an effective tool for diagnosing lung diseases. However, the problem of implementing and configuring methods that explain the results of digital diagnosis remains acute. Convolutional neural networks now show state-of-the-art results in the identification of diseases on X-ray. Therefore, to address the urgent issue in digital diagnosis, we propose information technology for visual analysis of X-ray images to explain the results of diagnosing pneumonia. The technology comprises a classification model based on a convolutional neural network to remove mild features of early viral pneumonia and a modified method of different localization to interpret the classification results. The method of interpretation is to apply weighted gradients to class activation maps. It distinguishes lung masks in the X-ray image and imposes thermal maps with a color gradient from blue to bright red. The red color corresponds to the most probable location of the pneumonia features in the radiograph. Such a modification provides excellent localization of abnormal areas on radiographs, removing the mild target features of early pneumonia. It should be noted that our model based on the convolutional network surpassed other classifiers in precision (98.5%) but slightly conceded in classification accuracy (96.1%) and recall (93.6%). Also, it shows relatively low false positive and false negative rates, with 1.4% and 6.4%, respectively. Overall, according to computational experiments, the proposed information technology can be an effective tool for instant diagnosis in the first suspicion of pneumonia.

Keywords: pneumonia, convolutional neural network, chest X-ray, visual analysis, class activation maps.

Постановка проблеми

Упродовж останнього року клінічні дослідження підтвердили той факт, що інфекційна хвороба COVID-19 спричиняє важку форму вірусної пневмонії в значній кількості людей [1]. Встановлено, що вірусний тип цього захворювання вимагає екстреної допоміжної допомоги, що робить критично важливою своєчасне й точне діагностування пневмонії. Тому на сьогодні виникає необхідність у використанні інформаційних технологій та обчислювальних методів для розроблення систем автоматизованого діагностування (САД) на ранній стадії пневмонії. Впровадження САД значно підвищує шанси на постановку правильного діагнозу і, як наслідок, поліпшення профілактичних заходів та подальших лікувань.

Аналіз останніх джерел

За останній час завдання візуальної інтерпретації цифрового медичного діагностування успішно розв'язуються методами глибокого навчання (ГО), зокрема, з використанням згорткових нейронних мереж (ЗНМ). Так, у роботі [2] представлено модифіковану багатопшарову нейронну мережу типу VGG [3], мета якої полягає у виявленні області інтересу (ОІ) на основі градієнту для локалізації пневмонії на зображенні. Іншим підходом до візуалізації та інтерпретації ГО є застосування повнозв'язних залишкових ЗНМ, зокрема Inception [4]. У роботі [5] запропоновано використовувати залишкову мережу типу Inception [4] з ядрами згортки розміром $3 \times 3 \times 3$ для сегментування органів черевної порожнини на об'ємних знімках комп'ютерної томографії. У нещодавньому дослідженні [6] автори запропонували САД на основі нейронної мережі типу MobileNet [7] для виявлення вірусної пневмонії, що спричинена COVID-19.

Попри значний успіх технологій ГО в галузі комп'ютерного зору (КЗ), залишаються нерозв'язаними певні завдання оброблення медичних зображень. Так, брак технологій для зрозумілої та доступної інтерпретації результатів діагностування не дає ЗНМ проявити весь свій потенціал у галузі аналізу медичних зображень.

Формулювання цілей

У представлений роботі пропонується інформаційна технологія для реалізації методу візуального аналізу рентгеновських зображень для виявлення пневмонії на ранній стадії. Для досягнення мети дослідження перед авторами постає виконання таких завдань:

- 1) створення моделі класифікації на основі ЗНМ для вилучення ознак ранньої пневмонії;
- 2) обґрунтування й реалізація методу візуального аналізу для інтерпретації результатів класифікації;
- 3) порівняння отриманих результатів із сучасними методами для тестування технології на практичну корисність і ефективність у завданні діагностування пневмонії.

Модель класифікації, як згорткова нейронна мережа

Для виявлення текстурних ознак пневмонії на зображенні за модель класифікації обрано ЗНМ із трьома згортковими шарами з операцією розширеної згортки. Топологія використовуваної моделі запропонована й детально описана в нашій попередній роботі [8]. Нижче визначено топологію ЗНМ із допомогою загальноприйнятих математичних виразів.

Двовимірний згортковий шар має вигляд:

$$a^{[l]} = \left[\text{ReLU}^{[l]} \left(\text{conv} \left(a^{[l-1]}, K^{(1)} \right) \right), \text{ReLU}^{[l]} \left(\text{conv} \left(a^{[l-1]}, K^{(2)} \right) \right), \dots \right. \\ \left. \dots, \text{ReLU}^{[l]} \left(\text{conv} \left(a^{[l-1]}, K^{(n_c^{[l]})} \right) \right) \right], \quad (1)$$

$$\text{conv} \left(a^{[l-1]}, K^{(n_c^{[l]})} \right)_{x,y} = \text{ReLU}^{[l]} \left(\sum_{i=1}^{n_{x,y}^{[l-1]}} \sum_{j=1}^{n_{x,y}^{[l-1]}} \sum_{k=1}^{n_{x,y}^{[l-1]}} K_{i,j,k}^{(n_c^{[l]})} a_{x+i-1,y+j-1,k}^{[l-1]} + b_n^{[l]} \right),$$

де функція активації ReLU має вигляд:

$$\text{ReLU} = \max \{0, x\}. \quad (2)$$

Після згорткових шарів у моделі використано усереднений підвибірковий шар:

$$a_{x,y,z}^{[l]} = \text{avgpool} \left(a^{[l-1]} \right)_{x,y,z} = \varphi^{[l]} \left(\left(a_{x+i-1,y+j-1,z}^{[l-1]} \right)_{(i,j) \in [1,2,\dots,f^{[l]}]^2} \right). \quad (3)$$

Повнозв'язні шари з функціями активації ReLU та Sigmoid визначено так

$$z_j^{[l]} = \sum_{i=1}^{n_{x,y,z}^{[l-1]}} w_{j,i}^{[l]} \cdot a_i^{[l-1]} + b_j^{[l]}, \\ \rightarrow a_j^{[l]} = \text{ReLU}^{[l]} \left(z_j^{[l]} \right), \quad (4) \\ \rightarrow a_j^{[l]} = \frac{1}{1 + e^{-a_j^{[l-1]}}}.$$

Модель нейронної мережі (1–4) може забезпечити мінімальні втрати розширення простору зображень. Водночас розширене ядро згортки дає змогу підтримувати збільшення області сприйняття ядра без підвищення кількості параметрів ядра й дає змогу уникнути надмірних втрат розширень мап ознак.

Метод візуального аналізу на основі відмінної локалізації

У представленому дослідженні пропонується модифікована стратегія візуального аналізу зображень під назвою мапи активації класів (МАК). Загалом МАК представляє область інтересу (ОІ) на рентгеновському зображенні на тому рівні класу, який вважається найбільш значущим для правильного прогнозування для всіх входів, що належать до даного класу. Зазначимо, що оскільки запропонована ЗНМ (1–4) містить у своїй топології усереднений підвибірковий шар (3), то відповідно до досліджень [9], така ЗНМ є сумісною зі зваженими за градієнтами МАК. Тому запропонований метод візуального аналізу полягає в застосуванні градієнтно-зважених операцій ГМАК на підвибірковому шарі ЗНМ до груп пікселів на рентгеновському зображенні. Модифікація ГМАК формує зважену суму всіх мап об'єктів на підвибірковому шарі для очікуваного класу c :

$$\text{ГМАК}_c(x, y) = \text{ReLU} \left(\sum_{m=1}^M B_m^c g_m(x, y) \right), \quad (5)$$

де $g_m(x, y)$ позначає m -ю мапу активації ознак на площині (x, y) , M – загальна кількість мап.

Значення B_m^c отримують шляхом обчислення градієнта оцінки прогнозування щодо m -ї мапи ознак:

$$B_m^c = \sum_{x,y} \frac{\partial S_c}{\partial g_m(x, y)}. \quad (6)$$

Нелінійність ReLU застосовується для зниження впливу негативних ваг на клас c ; відповідно до зважених градієнтів, пікселі з негативними вагами відносяться до інших класів.

Беручи за основу градієнтно-зважені мапи із (5), можемо обчислити суму всіх мап для розглядуваного рентгеновського зображення:

$$\text{сум_ГМАК}_c(x, y) = \sum_{k=1}^K (\text{ГМАК}_c^k(x, y)), \quad (7)$$

де $\text{ГМАК}_c^k(x, y)$ позначає мапи активації класів для k -го зображення в очікуваному класі c , K – загальна кількість зображень на виході підвибіркового шару.

Підхід (7) націлений на виявлення ОІ та поліпшення інтерпретації внутрішніх представлень на рентгеновському зображенні, і як наслідок, дає змогу пояснити передбачення моделі (1–4).

Результати обчислювальних експериментів

Для тестування запропонованого підходу використано набір рентгеновських зображень під назвою CheXpert [10]. Ефективність роботи побудованої нейронної мережі порівнюється з передовими рішеннями в галузі аналізу медичних зображень, які на сьогоднішній є нейронні мережі VGG19 [3], Inception-v4 [4] і MobileNetV2 [7]. У табл. 1 представлено результати обчислювальних експериментів для чотирьох тестованих моделей, що виражені в оцінках статистичних показників.

Таблиця 1

Чисельне порівняння моделі класифікації із сучасними рішеннями за критеріями класифікації

Модель	Accuracy	Precision	Recall	FPR	FNR	Час, ч
VVG19 [3]	0,859	0,824	0,915	0,196	0,085	5,11
Inception-v4 [4]	0,946	0,939	0,954	0,062	0,046	5,21
MobileNetV2 [7]	0,963	0,980	0,945	0,019	0,055	6,17
Модель (1–4)	0,961	0,985	0,936	0,014	0,064	4,62

Відповідно до чисельних показників у табл. 1, усі моделі досягли високих показників частки правильних позначень (Accuracy), точності (Precision) і повноти (Recall) класифікації ($\approx 90\%$). Водночас модель (1–4) випередила інші класифікатори за показником точності класифікації, досягнувши 98,5%, і злегка поступилася за часткою правильних відповідей (96,1%) та повнотою класифікації (93,6%).

З табл. 1 також випливає, що наша модель (1–4) демонструє порівняно низькі помилки першого (FPR) і другого (FNR) роду, показавши на кінець обрахунків 1,4% і 6,4% відповідно. З огляду на статистичні оцінки з табл. 1 можемо зробити висновок, що інформаційна технологія на основі моделі класифікації (1–4) демонструє хорошу продуктивність і може бути використана для розв'язання практичних завдань.

Обговорення результатів візуального аналізу

Результати візуальної інтерпретації підходу (5) можемо пояснити так. Модель (1–4) дістає рентгеновські зображення з навчального набору даних і декодує передбачення щодо ознак захворювання. Метод ГМАК, який у цій роботі визначено формулами (5–7), формує теплові мапи у вигляді двовимірних оцінних сіток, що розраховуються для кожного розташування точок вихідного зображення. Ті пікселі, яким відповідає високе значення для очікуваного класу, мають яскраво-червоне забарвлення з чіткими кольорними переходами для різних діапазонів. Сформовані теплові мапи накладаються на вихідні зображення для локалізації зони з потенційними ознаками легеневого захворювання. Далі з допомогою того ж методу ГМАК виявляються текстурні межі легень, і на їхній основі формуються маски легень. Зрештою, ці маски описують контури легких на рентгенограмах для вилучення локалізованої зони з ознаками. На рис. 1 представлено результати візуального аналізу рентгеновських зображень із допомогою градієнтної локалізації ознак на основі МАК.

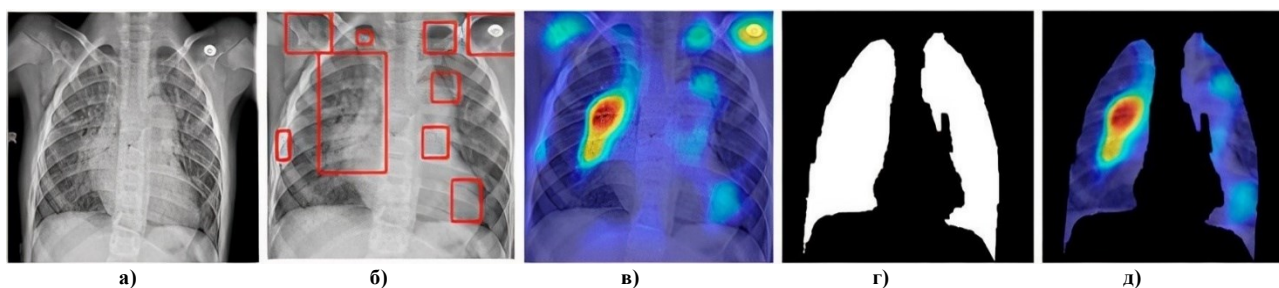


Рис. 1. Візуальна інтерпретація роботи ЗНМ з використанням методу ГМАК

На рис. 1 зображено порівняння різних етапів візуальної інтерпретації діагностування пневмонії з використанням методу ГМАК. На рис. 1а подано початкові рентгенограми, що підготовлені для подальшої візуальної інтерпретації; рис. 1б демонструє обмежувальні рамки, що локалізують зони активації з передбачуваним легеним захворюванням; на рис. 1в зображено теплові мапи, що накладені на рентгеновські зображення методом ГМАК; на рис. 1г продемонстровано автоматично сегментовані маски легень; і насамкінець, на рис. 1д представлено теплові мапи, що сформовані методом ГМАК і накладені на маски легень. З рис. 1 бачимо, що метод ГМАК позначає яскраво-червоним кольором найбільш ймовірне розташування ознак пневмонії на рентгенограмі. Отже, отримані теплові мапи на зображеннях дають можливість ідентифікувати візуальні відмінності в «пневмонічних» зонах зображення, і в такий спосіб,

дають змогу краще виявляти слабо виражені ознаки ранньої пневмонії.

Висновки

У представленому дослідженні пропонується інформаційна технологія візуального аналізу медичних зображень для інтерпретації результатів діагностування. В основі технології закладено модель класифікації на основі згорткової нейронної мережі для вилучення слабо виражених ознак ранньої вірусної пневмонії та модифікований метод відмінної локалізації для інтерпретації результатів класифікації. Метод інтерпретації полягає в застосуванні зважених градієнтів до мап активації класів. Подібна модифікація забезпечує відмінну локалізацію аномальних зон на рентгенограмах, що дає змогу вилучити цільові слабо виражені ознаки ранньої пневмонії. Відповідно до обчислювальних експериментів, запропонована інформаційна технологія може бути ефективним засобом для миттєвого діагностування в разі перших підозр на виявлення пневмонії.

Подальші дослідження в галузі аналізу медичних зображень будуть спрямовані на збільшення надійності запропонованого підходу діагностування ранньої пневмонії та розширення наборів даних для клінічного впровадження інформаційної технології.

References

1. Raghu G. COVID-19 interstitial pneumonia: Monitoring the clinical course in survivors / G. Raghu, K.C. Wilson // *The Lancet Respiratory Medicine*. – 2020. – Volume 8. – Issue 9. – P. 839–842.
2. Wang X. ChestX-Ray8: Hospital-scale chest X-Ray database and benchmarks on weakly-supervised classification and localization of common thorax diseases / X. Wang, Y. Peng, L. Lu, Z. Lu, M. Bagheri et al. // *Proceedings of the 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR-2017, Honolulu, HI, USA, July 21–26, 2017*. – IEEE Inc., 2017. – P. 3462–3471. – DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.369>
3. Simonyan K. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition / K. Simonyan, A. Zisserman // *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR-2015, San Diego, CA, USA, May 7–9, 2015*. – ICLR.org., 2015 – P. 1–14.
4. Szegedy C. Inception-v4, Inception-ResNet and the impact of residual connections on learning / C. Szegedy, S. Ioffe, V. Vanhoucke, A. Alemi // *Proceedings of the 31 AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI-2017, San Francisco, CA, USA, Feb 4–10, 2017*. – AAAI Press, 2017. – P. 4278–4284.
5. Radiuk P. Applying 3D U-Net architecture to the task of multi-organ segmentation in computed tomography / P. Radiuk // *Applied Computer Systems*. – 2020. – Volume 25. – Issue 1. – P. 43–50.
6. Mahmud T. CovXNet: A multi-dilation convolutional neural network for automatic COVID-19 and other pneumonia detection from chest X-ray images with transferable multi-receptive feature optimization / T. Mahmud, M.A. Rahman, S.A. Fattah // *Computers in Biology and Medicine*. – 2020. – Volume 122. – P. 103869.
7. Sandler M. MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks / M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, L. Chen // *Proceedings of the 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR-2020, Salt Lake City, UT, USA, June 18–23, 2018*. – IEEE Inc., 2018. – P. 4510–4520.
8. Krak Iu. Detection of early pneumonia on individual CT scans with dilated convolutions / Iu. Krak, O. Barmak, P. Radiuk // *Proceedings of 2nd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security, IntellITSIS-2021, Khmelnytskyi, Ukraine, March 24–26, 2021*. – CEUR-WP, 2021 – Volume 2853. – P. 214–227.
9. Selvaraju R.R. Grad-CAM: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization / R.R. Selvaraju, M. Cogswell, A. Das, R. Vedantam, D. Parikh, D. Batra // *International Journal of Computer Vision*. – 2020. – Volume 128. – Issue 2. – P. 336–359. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11263-019-01228-7>
10. Irvin J. CheXpert: A large chest radiograph dataset with uncertainty labels and expert comparison / J. Irvin, P. Rajpurkar, M. Ko, Y. Yu, S. Ciurea-Ilcus et al. // *Proceedings of the 33d AAAI Conference on Artificial Intelligence 2019, Honolulu, HA, USA, Jan 27 – Feb 1, Feb 2019*. – AAAI.org, 2019. – P. 590–597.

БАРМАК О. В.

ORCID ID: 0000-0003-0739-9678

alexander.barmak@gmail.com

РАДЮК П. М.

ORCID ID: 0000-0003-3609-112X

radiukpavlo@gmail.com

Надійшла/Paper received : 03.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

С.Т. БАРАСЬ, Л.В. КРУПЕЛЬНИЦЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

О.В. ОНИЩУК

Приватне акціонерне товариство «ВФ Україна»

ВИМІРЮВАННЯ ОПОРНОЇ ЧАСТОТИ ВУЗЬКОСМУГОВОГО РАДІОСИГНАЛУ ОБМЕЖЕНОЇ ТРИВАЛОСТІ

В роботі обґрунтовується можливість точного вимірювання опорної частоти вузькосмугового імпульсного радіосигналу за наявності у ньому перескоків фази та/або зон з повним згасанням амплітуди.

Ключові слова: вузькосмуговий радіосигнал, опорна частота, вимірювач частоти, структура.

S.T. BARAS, L.V. KRUPELNITSKYI

Vinnytsia National Technical University

O.V. ONYSCHUK

Vodafone Ukraine

MEASUREMENT OF NARROWBAND RESISTANCE FREQUENCY RADIO SIGNAL OF LIMITED DURATION

The work concerns analog-digital systems that work with radio signals emitted and received by the antenna, and these signals have a limited duration, ie are pulsed. The propagation conditions of such signals and the processes of formation of echo signals affect their amplitude, frequency and phase characteristics in such a way that they form classical narrowband signals. The operation of the system involves the determination of certain parameters of echo signals, and taking into account their pulse nature for such a definition is given a limited time interval. This means that the procedure for determining the parameters must meet the criterion of high speed, and therefore differ from the traditional, built on the use of phase-locked loop. The article is devoted to solving the problem of measuring the reference frequency of a pulsed narrowband radio signal.

By analyzing the results of experimental studies, two types of errors in measuring the reference frequency of a narrowband radio signal were identified and the causes of their occurrence were established. These errors are provoked by the peculiarities of the structure of the narrowband signal. The reason for the error of the 1st type, the absolute value of which correlates with the duration of the half-cycle of the reference frequency, is the so-called phase jumps at the point of change of the sign of the bypass. The frequency of such errors within the duration of the echo signal is generally low, although it increases with increasing signal spectrum width. Type 2 errors occur due to the appearance of zones with almost completely suppressed signal amplitude, which may be the result of intrapulse interference and / or signal attenuation. Such errors also occur more often if the spectrum width is larger.

A method for measuring the reference frequency of a narrowband pulsed radio signal is proposed, which is based on counting the number of half-cycles of the reference frequency on a time-limited measurement interval and removing from this procedure areas with completely suppressed signal amplitude. An auxiliary highly stable reference frequency is used to establish the numerical value of the reference frequency. The block diagram of the frequency meter and the algorithm of its operation are given, the implementation of which avoids these errors.

Key words: narrowband radio signal, reference frequency, frequency meter, structure.

Вступ

Прикладне розмаїття систем акусто-, гідро- та радіолокації охоплює, зокрема, і аналого-цифрові системи, які працюють в імпульсному режимі та в силу різних обставин повинні здійснювати обробку вузькосмугових радіосигналів. До прикладу можна назвати систему радіочастотного розпізнавання та ідентифікації об'єктів на місцевості за принципом «свій-чужий» та гідроакустичну систему вимірювання складових вектора швидкості надводних і підводних суден. У даній статті будемо спиратися переважно на гідроакустичний доплерівський вимірювач швидкості надводних та підводних суден, для якого в структурі імпульсного луно-сигналу визначальним інформаційним параметром є частота. Робота гідроакустичного вимірювача швидкості базується на використанні ефекту Доплера, тому точне визначення частотних зсувів забезпечує точне визначення складових вектора швидкості носія. Формування доплерівського луно-сигналу було розглянуто в низці робіт [1, 2]. Важливим результатом цих досліджень є встановлення того факту, що доплерівський луно-сигнал формується як суперпозиція парціальних сигналів з різними частотами, тобто є певною сукупністю спектральних складових, що дає підставу віднести такий сигнал до класу вузькосмугових [3, 4]. Центральна частота спектру вузькосмугового сигналу отримала назву опорної частоти. Саме її значення характеризує у співставленні з частотою випроміненого сигналу доплерівський зсув і, таким чином, дозволяє визначити швидкість носія. Серед джерел похибки вимірювання складових вектора швидкості об'єкта надводного або підводного плавання гідроакустичним лагом похибку вимірювання опорної частоти доплерівського луно-сигналу слід вважати найсуттєвішою [1]. Структура доплерівського сигналу впливає на граничні можливості стосовно вимірювання опорної частоти і, таким чином, визначає похибку доплерівського лага. У даній роботі продовжено дослідження доплерівських сигналів, а відтак і вузькосмугових сигналів взагалі, встановлено глибинні причини появи похибок вимірювання опорної частоти з урахуванням реальних фізичних моделей таких сигналів. Сформульовано шляхи уникнення установлених похибок вимірювання та наведено структуру і алгоритм роботи вимірювача опорної частоти.

Постановка задачі

Окрім вузькосмуговості ще однією специфічною характеристикою доплерівських сигналів є їх

обмежена тривалість або, іншими словами, імпульсний характер. Цей параметр є визначальним для вибору методу і пристрою визначення опорної частоти. Обмежений інтервал часу, протягом якого відбувається процедура вимірювання, не дозволяє, зокрема, застосовувати методи, що базуються на використанні допоміжних коливачів та фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Практика показала доцільність застосування методу підрахунку кількості періодів опорної частоти доплерівського сигналу на певному інтервалі вимірювання (зазвичай це проміжна частота, оскільки має місце підсилення вхідного сигналу з перетворенням частоти). Метод передбачає також використання високостабільної еталонної частоти. Серед переваг такого вибору є його практична безінерційність, тобто можливість ефективного вимірювання частоти протягом коротких інтервалів існування сигналу. Перш ніж розглянути експериментальні результати вимірювання опорної частоти охарактеризуємо сутність цього методу.

Позначимо опорну частоту радіосигналу через f_0 , період – через T_0 . Процес вимірювання синхронізується опорною частотою таким чином, що інтервал вимірювання дорівнює цілому числу N періодів частоти сигналу, який піддається вимірюванню. Цей інтервал “заповнюється” імпульсами еталонної частоти, величина якої вибирається максимально можливою. Кількість імпульсів еталонної частоти, які потрапили в інтервал вимірювання, позначимо через n , частоту їх слідування – f_e , період – T_e . Неважко впевнитись у тому, що знаючи кількість періодів вхідної частоти N , кількість імпульсів (періодів) еталонної частоти, які потрапили в інтервал вимірювання, і частоту (період) коливачів еталонного генератора, можна визначити опорну частоту вхідного сигналу за формулою

$$f'_0 = \frac{N}{n \cdot T_e} = \frac{N \cdot f_e}{n}, \quad (1)$$

де f'_0 – опорна частота вхідного сигналу, що є результатом вимірювання (на відміну від фактичної частоти f_0).

У сформульованій постановці задачі процедура вимірювання частоти здійснюється в умовах відсутності завад, що передбачає відсутність флуктуацій моментів переходу коливачів вхідної частоти через нуль. У цьому випадку єдиним джерелом похибки, яке необхідно враховувати, є некогерентність сигналів вхідної опорної частоти і еталонної частоти – так звана одиниця рахунку або похибка дискретності згідно з [5]. Ця похибка проявляється і на початку і в кінці інтервалу вимірювання, отже, можна орієнтуватися на ситуацію, коли в середньому кількість імпульсів еталонної частоти, які зафіксував вимірювач, відрізняється від фактичної кількості на одиницю і ця похибка відповідає повному періоду T_e . Але для реальних доплерівських сигналів ця похибка є нехтовно малою. На перше місце виходять похибки, що визначаються структурою вузькосмугового сигналу. Це підтверджують результати експериментальних досліджень.

Вимірювання опорної частоти було виконано в натурних умовах. Мета експерименту полягала у тому, щоб отримати визначені вимірювачем частоти значення опорної частоти у кожному доплерівському сигналі. Зазначимо, що часова діаграма роботи доплерівського лага передбачає залежність періоду випромінювання сигналу від глибини акваторії. Для умов вказаного експерименту цей період складав декілька сотень мілісекунд. Це важливо з тієї точки зору, що через інерційність руху носія фактичні значення опорної частоти для сусідніх сигналів на інтервалі декількох сотень мілісекунд не могли суттєво відрізнятися. Для подальшого аналізу і формулювання постановки задачі нам потрібні графічні залежності визначених значень опорної частоти по кожному (один за одним) доплерівському сигналу. На рис. 1 і 2 наведені такі характерні залежності, які вибрані з усього великого масиву експериментальних даних.

В наведених графіках опорні частоти в доплерівських сигналах різні, що свідчить про різні доплерівські зсуви, тобто різні швидкості носія. На горизонтальній осі відкладені порядкові номери доплерівських сигналів, що засвідчує неперервність вимірювань. Можна цю нумерацію замінити відліками часу з інтервалом, що відповідає періоду випромінювання сигналу. Це не принципово. Графіки подані таким чином, щоб відітінити два принципово різних варіанти похибок вимірювання частоти – на рис. 1 для декількох доплерівських сигналів (3, 9) визначене значення частоти більше фактичного, а на рис. 2 для сигналів 4, і 8 визначене значення частоти менше фактичного. Зауважимо принагідно, що практична незмінність фактичної частоти (на рис. 1 вона дорівнює 32050 Гц, а на рис. 2 – 33050 Гц) витікає з об'єктивного припущення щодо незмінності швидкості носія на інтервалі у декілька секунд.

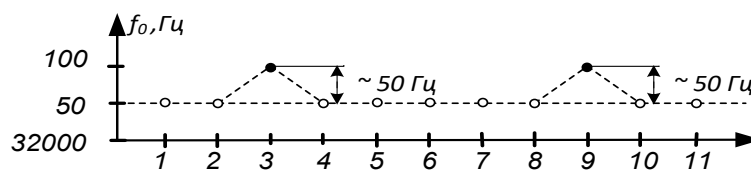


Рис. 1. Визначені значення частоти для швидкості носія 4 вузли

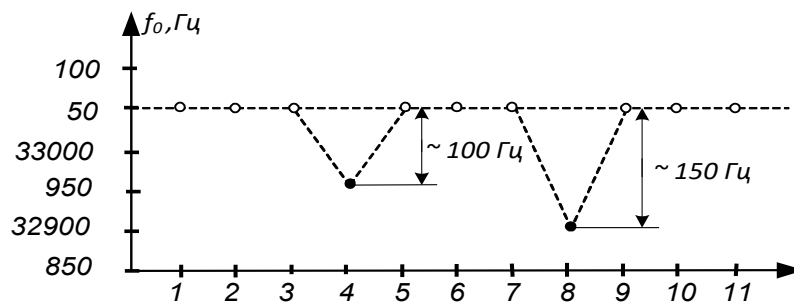


Рис. 2. Визначені значення частоти для швидкості носія 15 вузлів

Графік, наведений на рис. 1, показує, що в процесі функціонування доплерівського лага зустрічаються доплерівські сигнали, у яких визначене значення опорної частоти приблизно на 50 Гц (були випадки і на 100 Гц) більші фактичного або середнього значення. Усі похибки вимірювання тяжіли до значення 50 Гц або кратного йому. Причина цього у тому, що похибка 50 Гц відповідає для даних умов вимірювання появі одного додаткового півперіоду (збільшенню числа N на одиницю) і пропорційному збільшенню кількості імпульсів еталонної частоти n , а похибка 100 Гц – появі двох додаткових півперіодів (збільшенню числа N на два) і пропорційному збільшенню кількості імпульсів еталонної частоти n . Практично такий же результат має місце, якщо вимірювач частоти буде фіксувати незмінну кількість N , але при цьому число n зменшиться відповідно на кількість імпульсів для одного або двох півперіодів опорної частоти відповідно. Для прийнятого методу вимірювання поява додаткового півперіоду (півперіодів) опорної частоти, тобто збільшення числа N на встановленому часовому інтервалі означає збільшення частоти, а абсолютне значення похибки безпосередньо корелює з кількістю «хибних» півперіодів. Зауважимо, що абсолютне значення похибки не є незмінною величиною, а залежить від тривалості доплерівського сигналу, значення опорної та еталонної частот. Воно є постійним лише для певного режиму роботи системи.

Графік, зображений на рис. 2, ілюструє іншу ситуацію. Видно, що при вимірюванні опорної частоти в четвертому доплерівському сигналі отримано значення частоти на 100 Гц меншої від фактичної, а у восьмому сигналі – меншої на 150 Гц. Аналіз повного масиву експериментальних даних показує, що від'ємна похибка вимірювання, зазвичай, більша за абсолютним значенням, ніж додатна (див. рис. 1), але також кратна певній кількості півперіодів опорної частоти. Розрахунки показують, що такі результати є наслідком втрати певної кількості періодів (півперіодів) опорної частоти. Зменшене визначене значення опорної частоти легко пояснити формулою (1). Якщо втрачається певна кількість періодів, тобто зменшується число N , то зменшується чисельник у даній формулі, а на установленому часовому інтервалі вимірювання кількість імпульсів еталонної частоти n є незмінною (може змінитися лише за умови появи півперіоду). У цьому випадку визначене значення опорної частоти буде меншим – чим більше втрачається періодів опорної частоти (менше число N), тим більша абсолютна похибка вимірювання.

Дослідження показують, що на практиці на вимірювач частоти з виходу підсилювача надходять доплерівські сигнали, у яких можуть епізодично проявлятися одні або інші спотворення внутрішньої структури. Наслідком цього є існування похибок вимірювання опорної частоти обох видів (обох знаків). Отже, задача дослідження полягає у з'ясуванні особливостей тонкої структури доплерівських сигналів і формулюванні підходів щодо їх урахування при вимірюванні опорної частоти.

Аналіз структури вузькосмугових сигналів обмеженої тривалості

Аналіз буде прив'язаний до реальних вузькосмугових сигналів, якими є, як уже зазначалось вище, доплерівські сигнали гідроакустичного лага.

Будемо спиратись на результати досліджень, які містяться в статті [6]. Ця праця була присвячена дослідженню фізичної та математичної моделей доплерівських сигналів. Тепер необхідно дещо розширити границі досліджень і виявити об'єктивний зв'язок розглянутих вище похибок вимірювання опорної частоти з поведінкою тонкої структури сигналів.

Оскільки доплерівський сигнал $s(t)$ формується як суперпозиція парціальних сигналів, то його структура, очевидно, залежить від реальних параметрів цих елементарних луно-сигналів. В умовах роботи лага кожний елементарний луно-сигнал характеризується індивідуальною амплітудою та фазою, які визначаються особливостями розсіювальної поверхні дна, впливом ефекту Доплера та змінною відстанню, яку проходить кожен сигнал з моменту випромінювання до моменту прийому його антеною лага в межах кутів її характеристики спрямованості [7]. Для аналізу основних параметрів таких сигналів можна застосувати відомий апарат Гільберта [3], згідного з яким обвідна $A(t)$ сумарного коливання $s(t)$ визначається як модуль відповідного аналітичного сигналу:

$$A(t) = \sqrt{s_m^2(t) + \hat{s}_m^2(t)} = \sqrt{\left[\sum_{m=1}^{M(t)} A_m \sin[\Psi_m(t)] \right]^2 + \left[\sum_{m=1}^{M(t)} A_m \cos[\Psi_m(t)] \right]^2}, \quad (2)$$

де $\hat{s}_m(t)$ – спряжений вираз до $s(t)$; $A_m, \Psi_m(t)$ – амплітуда та фаза m -го елементарного луно-сигналу; $M(t)$ – кількість елементарних луно-сигналів, яка змінюється в часі і залежить від моменту прийому та тривалості кожного елементарного луно-сигналу.

Повна фаза $\Psi(t)$ сигналу $s(t)$ дорівнює аргументу аналітичного сигналу:

$$\Psi(t) = \arctg \frac{\hat{s}(t)}{s(t)} = \arctg \frac{\sum_{m=1}^{M(t)} A_m \sin[\Psi_m(t)]}{\sum_{m=1}^{M(t)} A_m \cos[\Psi_m(t)]}. \quad (3)$$

І, нарешті, миттєва частота $\omega(t)$ сигналу $s(t)$ є похідною від повної фази по часу:

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} \arctg \frac{\hat{s}(t)}{s(t)} = \frac{d}{dt} \arctg \frac{\sum_{m=1}^{M(t)} A_m \sin[\Psi_m(t)]}{\sum_{m=1}^{M(t)} A_m \cos[\Psi_m(t)]}. \quad (4)$$

В [3] зазначається, що сигнал, для якого справедливі співвідношення (2), (3) та (4), є квазігармонійним коливанням, причому миттєва частота (4) складається з опорної частоти $\omega_0 = 2\pi f_0$ та складової, що залежить від відношення квадратурної та синфазної складових вузькосмугового сигналу.

У статті [6] наведені результати комп'ютерного моделювання доплерівських сигналів. Моделювання здійснювалось за умови дотримання таких обмежень:

- об'єкт плавання рухається рівномірно та прямолінійно;
- розсіювальна ділянка дна однорідна та незмінна;
- хитавиця, інші дестабілізуючі фактори та шуми середовища відсутні;
- моделювання обмежується розповсюдженням сигналу з моменту випромінювання до моменту прийому його антеною лага.

Моделювання виконувалося для різних швидкостей носія, глибин акваторії та тривалості випроміненого сигналу. Вихідні параметри: випромінювання та прийом радіоімпульсів здійснюється по першому променю діаметрально-траверсної антенної системи лага, кут нахилу якого відносно горизонту $\alpha = 60^\circ$, ширина характеристики спрямованості $\gamma = 3^\circ$, частота заповнення випроміненого сигналу 250 кГц, швидкості носія 1, 5 та 7 м/с, глибини акваторії 10, 30, 200 м. Тривалість імпульсу випромінювання встановлюється відповідно до рекомендацій [8]. При моделюванні імітувалося декілька десятків розсіювальних елементів, які знаходились в межах озвученої ділянки дна.

На рис. 3а, б і в наведені осцилограми реальних доплерівських сигналів, отриманих в натурних умовах плавання при швидкості носія, відповідно, 1 м/с, 5 м/с та 7 м/с. Результати моделювання структури доплерівських сигналів представлені на рис. 4.

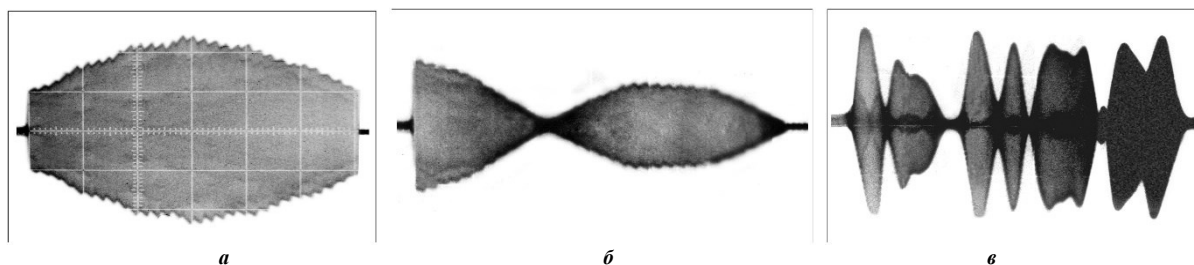


Рис. 3. Осцилограми реальних доплерівських сигналів:
а - $V_1 = 1$ м/с; б - $V_2 = 5$ м/с; в - $V_3 = 7$ м/с

Зазначаємо зовнішню схожість реальних та змодельованих сигналів, що дає підстави вважати у них тотожність і тонкої структури, тобто високочастотного заповнення. Звернемо увагу на провали амплітуди сигналу, частота яких однозначно корелює зі швидкістю носія. Таку кореляцію легко пояснити тим, що із збільшенням швидкості носія збільшуються доплерівські зсуви частоти і збільшується спектр доплерівського сигналу. Наслідком суперпозиції більшої кількості гармонік з більш віддаленими частотами є частіші зміни амплітуди обвідної, отже, і розширення її спектру.

Очевидно найбільший інтерес і необхідність ретельного аналізу представляють провали обвідної доплерівських сигналів. Розглянемо їх, збільшивши попередньо масштаб. Неминучим у таких провалах відзначаємо явище зміни знаку обвідної, яке проявляється у вигляді стрибка фази високочастотного заповнення на 180° . Таких стрибків протягом існування відбитого імпульсу (доплерівського сигналу) може бути декілька. В інших випадках зона провалу обвідної характеризується практично повним згасанням сигналу, причому ця зона інтерференції частотних складових може мати тривалість, що відповідає декільком періодам опорної частоти. Розглянемо доплерівський сигнал у зоні стрибка фази на 180° , рис. 5.

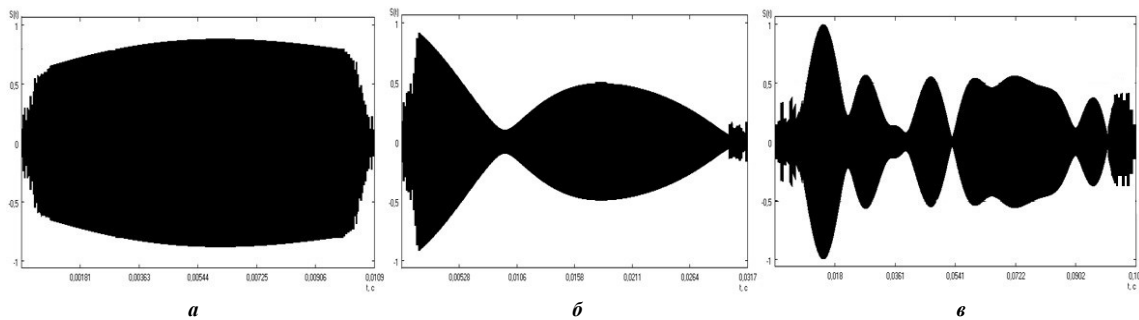


Рис. 4. Структура доплерівських сигналів, змодельованих при:
 а – $V_1 = 1$ м/с, $\tau_1 = 10$ мс; б – $V_2 = 5$ м/с, $\tau_2 = 30$ мс; в – $V_3 = 7$ м/с, $\tau_3 = 100$ мс

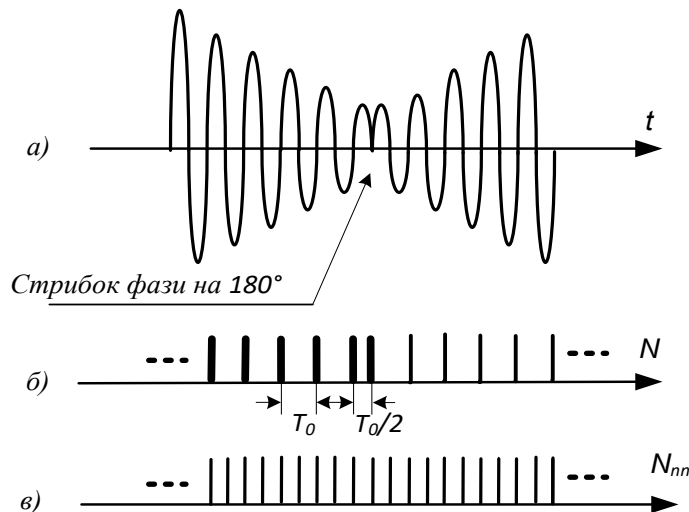


Рис. 5. Доплерівський сигнал у зоні стрибка фази

Верхній графік, рис. 5а, демонструє поступове зменшення амплітуди обвідної до точки зміни її знаку, де і спостерігається перескок фази високочастотного заповнення. На рис. 5б наведена послідовність імпульсів N , формування яких прив'язане до переходів високочастотного заповнення через нуль з від'ємної в додатну область. Це той самий параметр, який фігурує у формулі (1). З рисунка видно, що стрибок фази приводить до формування імпульсу, який на відміну від усіх інших відображає півперіодний інтервал. Саме така ситуація в контексті прийнятого алгоритму роботи вимірювача опорної частоти приводить до виникнення похибок першого виду (див. рис. 1). Розв'язання питання у напрямку уникнення такого виду похибок очевидне. Необхідно формувати замість імпульсів N імпульси N_{π} , які відображають кількість півперіодів опорної частоти. За цієї умови перескоки фази не впливають на значення N_{π} , але розрахункова формула (1) дещо зміниться

$$f'_0 = \frac{N_{\pi}}{2 \cdot n \cdot T_e} = \frac{N_{\pi} \cdot f_e}{2 \cdot n} \quad (5)$$

Визначення кількості імпульсів еталонної частоти n необхідно здійснювати протягом існування півперіодів опорної частоти. Якщо орієнтуватися на рис. 5, то імпульси еталонної частоти повинні безперервно формуватися протягом усього інтервалу вимірювання.

На рис. 6 наведено фрагмент сигналу у зоні повного згасання його амплітуди.

Рис. 6а – це відтворення провалу обвідної доплерівського сигналу, що спостерігається при збільшенні швидкості носія (див. рис. 3в). Саме для такого типу сигналів визначення опорної частоти супроводжується похибками, про що красномовно свідчать результати експериментальних досліджень [1]. Існуючий алгоритм вимірювання опорної частоти, як відомо, передбачає визначення кількості періодів N , що уміщуються на інтервалі вимірювання. Це демонструє рис. 6б, на якому спостерігається відсутність таких імпульсів у межах «зони згасання сигналу». Якщо при цьому високочастотні імпульси n формуються безперервно, то результатом вимірювання опорної частоти буде її занижене значення, тобто похибка другого виду (див. рис. 2).

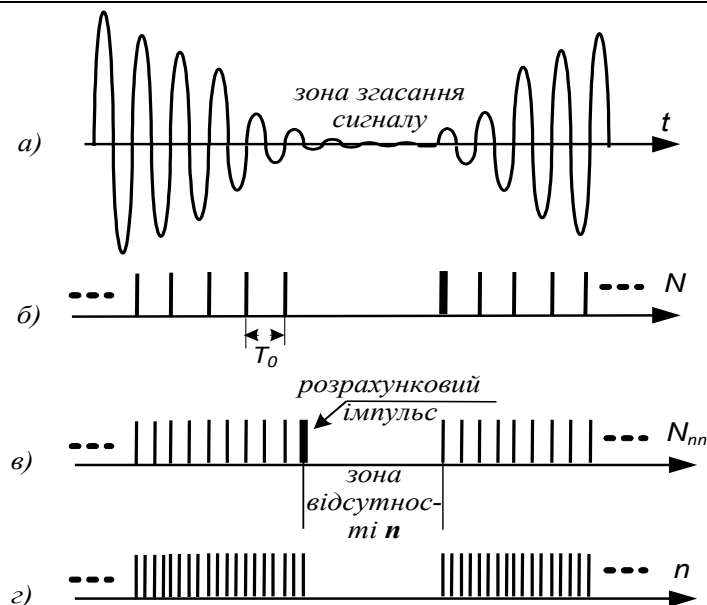


Рис. 6. Доплерівський сигнал у зоні згасання

Розв'язання цієї проблеми можна побачити на рис. 6в і 6г. Першим кроком у цьому напрямку є перехід на визначення замість періодів кількості півперіодів N_{π} , про що вже зазначалось вище. Наступним кроком є безперервний підрахунок кількості високочастотних імпульсів у межах кожного півперіоду опорної частоти n_{π} . Це потрібно для того, щоб сформувати так званий «розрахунковий імпульс», якщо через згасання сигналу формування реального імпульсу не відбудеться. Така процедура базується на попередньому розрахунку критичного значення числа n_{π} , яке повинне відповідати найнижчій можливій опорній частоті $f_{0i} = 1/T_{0i}$, що визначається призначенням системи:

$$n_{\pi} = \frac{f_e}{2 \cdot f_{0i}}. \quad (6)$$

Принагідно зазначимо, що подібне технічне рішення може дещо вплинути на результат вимірювання опорної частоти, але цей вплив є незначним. Ступінь впливу залежить від точності встановлення прогнозованої частоти f_{0i} .

Таким чином, «розрахунковий імпульс» повинен бути сформований примусово у тих випадках, коли наявне згасання сигналу не дозволяє його сформувати у момент фактичного завершення півперіоду. Одночасно з формуванням «розрахункового імпульсу» необхідно заблокувати формування високочастотних імпульсів n , що демонструє рис. 6г. Відновлення формування високочастотних імпульсів збігається з появою чергового імпульсу N_{π} , що також видно з рис. 6г. З рис. 6 видно, що «зона відсутності n » практично відповідає положенню і тривалості «зони згасання сигналу».

Аналіз реальних вузькосмугових сигналів, їх математичної моделі та фізичних моделей, отриманих в результаті комп'ютерного моделювання, показав, що в цілому вузькосмуговий радіосигнал імпульсного виду характеризується двома видами зон: зоною з достатньо великим значенням амплітуди і зоною згасання сигналу. У першій з них не спостерігається проблем з визначенням опорної частоти. У другій така проблема є. Ця проблема пов'язана або з ефектом перескоку фази або/та з повною відсутністю сигналу. Саме такі проблемні часові інтервали (ділянки) безпосередньо впливають на точність визначення опорної частоти у межах цілісного радіосигналу. Перехід на алгоритм роботи з півперіодами опорної частоти разом з процедурою селекції «зони згасання сигналу» дозволяє уникнути похибок вимірювання частоти, пов'язаних з особливостями тонкої структури вузькосмугового сигналу.

Структура вимірювача частоти

Проведені дослідження дають можливість синтезувати апаратну реалізацію алгоритму визначення опорної частоти вузькосмугового сигналу обмеженої тривалості. Структурна схема вимірювача частоти наведена на рис. 7.

Процедура підготовки до вимірювання опорної частоти завершується перетворенням попередньо підсиленого і відфільтрованого вхідного вузькосмугового сигналу імпульсного виду в сигнал типу «меандр». Це забезпечує підсилювач-обмежувач 1. «Меандр» надходить одночасно на формувачі 2 і 3, на виходах яких створюються короткі імпульси, прив'язані до додатного та від'ємного перепадів «меандру» відповідно. Суматор 4 об'єднує отримані послідовності в єдину послідовність, яка фактично відображає границі півперіодів опорної частоти. Кількість імпульсів цієї послідовності N'_{π} у загальному випадку не дорівнює числу, яке повинне використовуватися у формулі (5) для розрахунку опорної частоти.

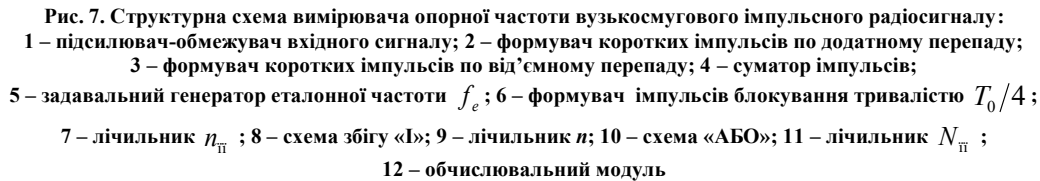


Схема «АБО» 10 виконує функцію об'єднання скоригованої послідовності імпульсів N'_n і розрахункових імпульсів. За допомогою цієї схеми розрахункові імпульси фактично вводяться у послідовність N'_n , у результаті чого створюється послідовність N_n , яка підраховується лічильником N_n 11 і їх число вводиться разом з числом n в обчислювальний модуль 12. В обчислювальному модулі 12

реалізується формула (5). На його виході отримаємо значення опорної частоти вузькосмугового сигналу f'_0 .

Висновки

На основі аналізу експериментальних даних щодо вимірювання опорної частоти вузькосмугового радіосигналу обмеженої тривалості встановлено два різновиди похибок, які при цьому виникають. Похибки 1-го виду проявляються у вигляді вищої по відношенню до фактичної частоти і є кратними появі на інтервалі вимірювання додаткових півперіодів опорної частоти. Похибки 2-го виду, навпаки, проявляються у вигляді менших відносно фактичних частот і є кратними зникненню декількох періодів (півперіодів) опорної частоти на інтервалі вимірювання.

Шляхом дослідження математичної, реальної та комп'ютерної моделей встановлено кореляцію між виникненням похибок вимірювання частоти і структурою вузькосмугового сигналу. Виявлено, що похибки вимірювання опорної частоти 1-го виду є наслідком перескоків фази на 180° , а похибки вимірювання 2-го виду є наслідком згасання сигналу, що супроводжується втратою певної кількості періодів опорної частоти у зоні згасання.

Запропонована структура та алгоритм роботи вимірювача опорної частоти сигналу, у якому нівелюються впливи зазначених факторів на результати вимірювання. Вимірювач пристосований для роботи з імпульсними радіосигналами.

Література

1. Барась С.Т. Прикладні аспекти побудови гідроакустичних доплерівських лагів : монографія / Барась С.Т. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 241 с.
2. Гидроакустические навигационные средства / [В.И. Бородин, Г.Е. Смирнов, Н.А. Толстяков, Г.В. Яковлев]. – Л. : Судостроение, 1983. – 262 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / Баскаков С.И. – М. : Высшая школа, 1988. – 448 с.
4. Основи теорії сигналів / за ред. Б. А. Мандзія. – Львів : Видавничий дім "Ініціатива", 2008. – 240 с.
5. Головка Д.Б. Основи метрології та вимірювань / Головка Д.Б., Рего К.Г., Скрипник Ю.О. – К. : Либідь, 2001. – 408 с.
6. Онищук О.В. Узагальнена модель доплерівського сигналу гідроакустичного лага / О.В. Онищук, С.Т. Барась // Наукові праці ВНТУ : електронний журнал. – 2008. – № 1. – URL : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-1/vyp1.html>.
7. Онищук О.В. Моделювання доплерівського сигналу / О.В. Онищук, С.Т. Барась // Вісник ВПІ. – 2007. – № 5. – С. 143–147.
8. Барась С.Т. Оптимізація часової діаграми роботи гідроакустичного доплерівського лага / С.Т. Барась, О.А. Костюк, Р. Ф. Лободзінська // МНТЖ ВОТТІ. – 2000. – № 2. – С. 87–91.

References

1. Baras S.T. Prykladni aspekty pobudovy hidroakustychnykh dopplerivskykh lahiv : monohrafiia / Baras S.T. – Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia, 2008. – 241 s.
2. Gidroakusticheskie navigacionnye sredstva / [V.I. Borodin, G.E. Smirnov, N.A. Tolstyakov, G.V. Yakovlev]. – L. : Sudostroenie, 1983. – 262 s.
3. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie cepi i signaly / Baskakov S.I. – M. : Vysshaya shkola, 1988. – 448 s.
4. Osnovy teorii syhnaliv / za red. B. A. Mandziia. – Lviv : Vydavnychiy dim "Initsiatyva", 2008. – 240 s.
5. Holovko D.B. Osnovy metrolohii ta vymiriuvan / Holovko D.B., Reho K.H., Skrypnyk Yu.O. – K. : Lybid, 2001. – 408 s.
6. Onyshchuk O.V. Uzahalnena model dopplerivskoho syhnalu hidroakustychnoho laha / O.V. Onyshchuk, S.T. Baras // Naukovi pratsi VNTU : elektronnyi zhurnal. – 2008. – № 1. – URL : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-1/vyp1.html>.
7. Onyshchuk O.V. Modeliuvannia dopplerivskoho syhnalu / O.V. Onyshchuk, S.T. Baras // Visnyk VPI. – 2007. – № 5. – S. 143–147.
8. Baras S.T. Optymizatsiia chasovoi diahramy roboty hidroakustychnoho dopplerivskoho laha / S.T. Baras, O.A. Kostiuk, R. F. Lobodzinska // MNTZh VOTTP. – 2000. – № 2. – S. 87–91.

Надійшла/Paper received : 14.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

В.С. ЯКОВИНА, Б.В. УГРИНОВСЬКИЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОРИСТУВАЦЬКИХ ДОДАТКІВ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID В КОНТЕКСТІ ЯВИЩА СТАРІННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В роботі наведено результати досліджень явища старіння програмного забезпечення в операційній системі Android. Виконано аналіз оцінки `oom_adj_score` та на її основі виділено дві групи: системні процеси та користувацькі додатки. Аналіз системних процесів показав, що індикаторами старіння є процеси `system_server` та `surfaceflinger`, а також `com.android.phone`, `cameraserver` у випадку активного використання додатків телефонної книги та камери. В свою чергу, користувацькі додатки також вразливі до явища старіння, що спостерігається в можливих витоках пам'яті та помилках відображення кадрів UI. Запропоновано застосувати розглянуті системні процеси в процедурі омолодження програмного забезпечення, а для користувацьких додатків реалізувати засоби, які б забезпечили розробників інформацією про стан старіння системи для можливості побудови алгоритмів з урахуванням цього стану.

Ключові слова: старіння програмного забезпечення, метрики старіння, омолодження програмного забезпечення, операційна система, Android.

VITALIY S. YAKOVYNA, BOHDAN V. UHRYNOVSKYI

Lviv Polytechnic National University

RESEARCH OF SOFTWARE AGING IN ANDROID SYSTEM PROCESSES AND USER APPLICATIONS

Android operating system is vulnerable to the aging-related effects such as performance degradation and increased of aging-related failures rate due prolonged usage of a mobile device without rebooting. This paper considers software aging phenomenon in system processes and user applications of the Android operating system and means for counteracting this phenomenon. Experimental research was performed using a methodology that consists in performing stress tests on mobile applications, collecting system data on running processes, converting the collected data into time series for the relevant metrics and analyzing these data using statistical methods. Thus, the analysis of `oom_adj_score` for determining processes priorities in the context of software aging allowed to identify two groups of processes, namely system processes and user applications. It is also pointed out the possibility of using `oom_adj_score` to determine the state of system usage in the tasks of software aging predicting and performing software rejuvenation. The results of the system processes analysis showed that the indicators of aging are `system_server` and `surfaceflinger` processes, as well as `com.android.phone`, `cameraserver` in the case of active use of contacts and camera applications. The considered processes can be used to implement software rejuvenation. Research has shown that user applications are also vulnerable to aging-related effects, but the rejuvenation procedure cannot be applied to them at the system level. It is important to take steps to prevent aging-related errors, such as using appropriate data structures and algorithms for efficient memory management, minimizing the load on the main UI stream, and using effective graphics techniques to reduce the number of delayed frames. In future works it is important to investigate the considered system processes and services in tasks of software aging forecasting and performing of rejuvenation procedure. It is important for user applications to develop tools that provide developers with information about the state of software aging in the system, which would allow to decide on the feasibility of performing important and resource-intensive tasks in conditions when the system is already in a state with a high probability of aging-related failure.

Keywords: software aging, aging metrics, software rejuvenation, operating system, Android.

Постановка проблеми

Старіння програмного забезпечення [1–4] – це процес погіршення продуктивності та збільшення частоти відмов програмного забезпечення в системах, що працюють тривалий час без перезавантаження. Причиною виникнення цього явища є помилки, які накопичуються в системі та користувацьких додатках під час їх виконання, але відмова програмного забезпечення чи вплив цих помилок на продуктивність може спостерігатися пізніше їх виникнення. Прикладом таких помилок є витоки пам'яті чи помилки заокруглення. Явище старіння проявляється в багатьох системах [3, 4], зокрема в мобільних операційних системах, таких як Android [5, 6]. Мобільні пристрої є особливо вразливі до ефектів старіння [7], оскільки вони мають обмежені апаратні ресурси, залежні від заряду батареї та використовуються тривалий час без вимкнення.

Можна виділити два основні підходи для протидії явищу старіння, а саме активний та пасивний підхід.

Омолодження програмного забезпечення [2, 8] – це активний підхід для боротьби із явищем старіння, який полягає у виконанні перезавантаження чи очищення процесів, системних компонент чи всього девайсу в запланований час, щоб зменшити кількість накопичених помилок старіння в стані системи і тим самим відтермінувати виникнення відмов через старіння. Системні процеси, сервіси та користувацькі додатки можуть розглядатися як об'єкти спостереження для виявлення старіння та планування процедури омолодження, так і як цільові об'єкти для виконання перезавантаження чи очищення.

У свою чергу, пасивний підхід полягає у використанні інструментів на етапі розробки програмного забезпечення та застосуванні технік та засобів [9, 10] в самому програмному забезпеченні під час його виконання, що можуть зменшити інтенсивність виникнення помилок старіння.

Таким чином, важливими науково-прикладними задачами є визначення процесів, що можуть бути застосовані під час омолодження програмного забезпечення, виявлення умов виникнення старіння для

різних типів процесів, а також визначення можливих засобів для уникнення помилок старіння.

Аналіз останніх джерел

Дослідження явища старіння в першу чергу полягає у виявленні чинників та умов старіння, проблемних ділянок операційної системи та користувацьких додатків, які піддаються впливам старіння. Для отримання експериментальних даних та їх подальшого аналізу в більшості робіт застосовується методологія [7], яка полягає у виконанні стресових тестів над додатками операційної системи Android, регулярному збиранні даних про стан системи під час виконання стресового тестування, формуванні часових рядів для певного набору метрик на основі зібраних даних, аналізі часових рядів статистичними та регресійними методами. Результати аналізу дозволяють визначити ефективні та достовірні метрики старіння, умови та ділянки системи, де виникає старіння, а також виявити потенційних кандидатів для виконання процедури омолодження.

В роботах [5, 6] виконано ґрунтовне дослідження явища старіння в операційній системі Android, виявлено основні характеристики старіння на рівні операційної системи та запропоновано засоби омолодження шляхом перезавантаження основних системних сервісів. Автори враховували різні умови та чинники, що могли впливати на старіння, зокрема, модель та технічні характеристики мобільного пристрою, версію операційної системи, різні набори користувацьких додатків, події введення, запуски і зупинки користувацьких додатків, обсяг вільної пам'яті в сховищі даних, тощо. В дослідженнях розглядали системні метрики та метрику користувацького інтерфейсу, зокрема, наступні:

- PSS (Proportional Set Size, kB) – частка оперативної пам'яті, що зайнята певним процесом і складається з приватної пам'яті цього процесу та частки спільної пам'яті одного чи декількох процесів.
- GC Total Time та GC Paused Time (ms) – загальна тривалість виконання збирача сміття (garbage collector) і затримка перед її виконанням.
- Activity Launch Time (ms) – це кількість часу, що пройшло від моменту запуску процесу до остаточного відображення відповідного Activity (екрану додатку) на дисплеї мобільного пристрою.

Результати досліджень [5] показують, що найбільш вразливими і ресурсоємними процесами системи є:

- System Server – це Java процес, який запускається під час завантаження Android та ініціалізує Android Framework. Він містить більшість системних служб, таких як Activity Manager, яка управляє життєвим циклом додатків та їх Activity, та Package Manager, яка управляє установленими пакетами та дозволами безпеки. Цей процес також регулює доступ до системних ресурсів.
- System UI – це процес, який компонує області екрана для відображення сповіщень, повідомлення про стан пристрою та кнопок навігації за допомогою системних панелей.
- Surface Flinger – це процес, що отримує шари вікон (поверхні) з різних джерел (включно із System UI), об'єднує їх та відображає на дисплеї девайсу.

В попередніх роботах основна увага приділяється дослідженню старіння на рівні операційної системи, тому важливо розглянути аспекти старіння процесів різного рівня, зокрема користувацьких додатків. В роботі [11] розглянуто метрики Frame Draw Time та Janky Frames Count, які дозволяють відслідковувати явище старіння в користувацьких додатках. Frame Draw Time – це час відображення одного кадру інтерфейсу користувача. Janky Frames Count – це кількість кадрів, які не відобразились через затримку внаслідок навантаження. Команда командного рядка *adb shell dumpsys gfxinfo* дозволяє отримувати описані метрики, а також показники, що вказують на можливі причини затримок кадрів чи тривалого відображення кадрів [12]:

- Missed Vsync – пропущені вертикальні синхронізації відображення кадру і оновлення дисплею девайсу;
- High input latency – висока затримка введення для відображення наступного кадру;
- Slow UI thread – повільна робота потоків користувацького інтерфейсу;
- Slow bitmap uploads – повільне завантаження растрових зображень;
- Slow issue draw commands – повільне виконання команд малювання.

Операційна система Android реалізує два механізми для управління випадками низького рівня об'єму вільної оперативної пам'яті [13]: kernel swap daemon (KSD) та low-memory killer (LMK). На рівні процесів системи використовується LMK, який «вбиває» процеси, тобто примусово завершує їх роботу і звільняє використовувані ресурси. Для прийняття рішення про те, який процес може бути завершений, LMK використовує оцінку “out of memory” (oom_adj_score) для пріоритетизації кожного процесу системи. Процеси з найвищою оцінкою примусово завершуються першими. Основні категорії оцінок процесів:

- Фонові додатки (cached, serviceb) – не активні в даний момент додатки. Завершуються першими в порядку зменшення присвоєного їм рейтингу.
- Попередній додаток (prev) – нещодавно запущений додаток, який з більшою імовірністю користувач знову відкриватиме.
- Домашній додаток (home) – програма запуску, закриття якої призведе до зникнення шпалер на головному екрані.
- Сервіси (servicea) – це сервіси додатків, які запускаються і контролюються в першу чергу додатками і можуть виконувати, наприклад, завантаження даних на сервер чи інші складні обчислення.
- Помітні додатки (percept) – це помітні для користувача додатки, але не знаходяться на

передньому плані, наприклад, системні кнопки навігації.

- Додаток переднього плану (fore, vis) – це додаток, що відображається і використовується безпосередньо користувачем в даний момент. Примусове завершення цього додатку виглядатиме для користувача як помилка виконання і є індикатором того, що девайс працює погано.

- Стійкі сервіси (pers, persvc) – основні сервіси мобільного пристрою, які управляють телефонним, wifi зв'язком і т.д..

- Системні процеси (system) – у випадку завершення цих процесів телефон може перезавантажитись.

- Нативні процеси (native) – низькорівневі процеси системи, зокрема KSD.

Метою роботи є дослідження явища старіння в системних процесах та користувацьких додатках операційної системи Android, враховуючи метрики Frame Draw Time, Janky Frames Ratio та пов'язані з ними причини затримки відображення кадрів, а також пріоритети процесів oom_adj_score.

Виклад основного матеріалу

Розроблений в попередній роботі фреймворк [11] для виконання стресового тестування мобільних додатків операційної системи Android та формування часових рядів для метрик старіння, на основі зібраних системних даних, дозволив отримати експериментальні дані для аналізу старіння системних процесів та користувацьких додатків. Детальна інформація про виконуваних тести та вимірювані метрики подана в таблиці 1.

Таблиця 1

Конфігурація експериментальних досліджень

Умови стресового тестування	К-сть тестів	Вимірювані метрики	Користувацькі додатки	Конфігурація девайсу	Тривалість тестового запуску
Примусовий перезапуск додатків користувача кожні 30 секунд	4	UI: Activity Launch Time, Frame Draw Time, Janky Frames Count, Missed Vsync, High input latency, Slow UI thread, Slow bitmap uploads, Slow issue draw commands;	com.google.android.youtube com.android.contacts com.android.chrome com.android.camera com.google.android.apps.photos	Xiaomi Redmi Note 4 2018 RAM: 3 Gb Версія Android: 7.0	2,5 год
Без примусового перезапуску додатків користувача	4	RAM: PSS, oom_adj_score; GC: Paused Time, Total Time;			

Результати виконання експериментів

Виконання експериментального етапу дослідження дозволило отримати дані про використання процесами пам'яті системи, а також про динаміку зміни продуктивності різних процесів та додатків. Розподіл використання пам'яті процесами різних категорій (рис. 1) показує, що більша частина оперативної пам'яті використовується користувацькими додатками та сервісами: pers, fore, vis, home, prev, cached. В цьому випадку важливо ідентифікувати групи процесів, в яких спостерігається стабільний тренд збільшення використання оперативної пам'яті, що може свідчити як про наявні в них помилки пов'язані із витоками пам'яті, так і про природне збільшення використовуваної пам'яті для користувацьких потреб.

На рис. 2 показано кількість трендів збільшення використання пам'яті процесами різних груп. Визначення тренду виконано з допомогою тесту Манна-Кендала [14] та процедури Сена для обчислення нахилу тренду. Статистична значимість для виявлення тренду визначена як 90% ($\alpha=0.1$). Тобто, якщо $P < 0.1$, а значення нахилу більше нуля, тоді спостерігається тренд збільшення. Результати обчислення трендів показують, що майже у всіх випадках тестів спостерігається стабільне збільшення використання пам'яті користувацькими додатками (vis) та збільшення об'єму кешованих додатків (cached, backup), що свідчить про збільшення навантаження на систему і необхідність в майбутньому використання LMK для звільнення пам'яті для нових процесів. Недоліком такої ситуації є те, що прийняття рішення про завершення роботи користувацьких процесів відбувається на стороні системи, що в деяких випадках може бути критично для користувача, який очікує завершення виконання своїх задач. Категорія pers, в яку входять процеси системних сервісів, також зазнає старіння в 7 з 8 тестів.

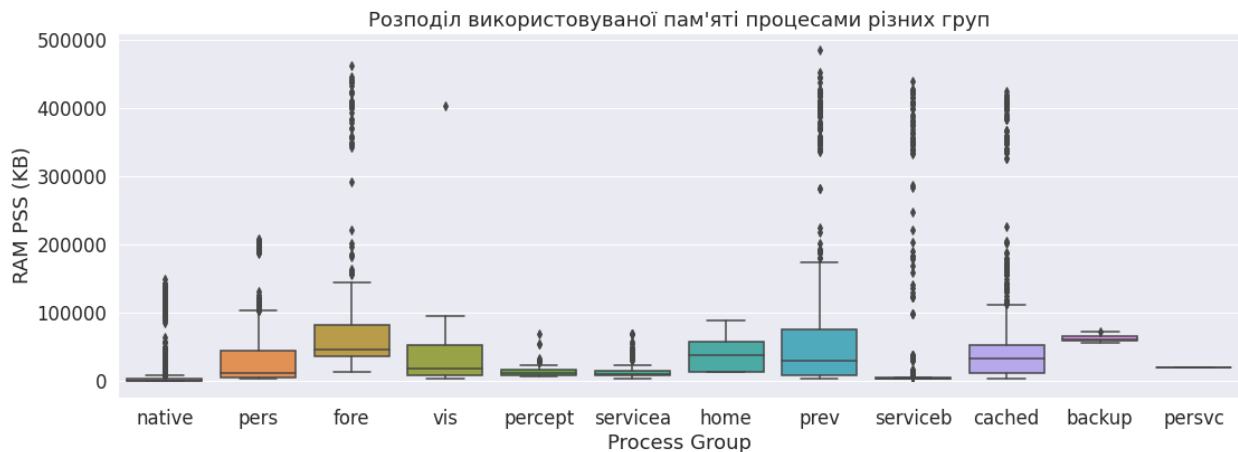


Рис. 1. Розподіл використання пам'яті процесами в різних групах



Рис. 2. Тренди використання оперативної пам'яті процесами різних груп

Проаналізувавши отримані результати і беручи до уваги роботу LMK, можна виділити дві умовні групи процесів з точки зору старіння програмного забезпечення:

1. Системні процеси (native, system, pers, persvc, home, percept) – можна застосувати процедуру омолодження до основних сервісів системи;

2. Користувацькі додатки (fore, vis, prev, servicea, cached, serviceb) – ефективність протидії старінню в цих процесах полягає в першу чергу в мінімізації кількості помилок, що призводять до старіння, шляхом застосування ефективних структур даних, алгоритмів, архітектурних шаблонів та механізмів управління ресурсами.

Аналіз oom_adj_score також дозволяє зробити висновок про доцільність використання цієї метрики у випадку визначення стану системи під час планування чи виконання процедури омолодження ПЗ. Визначення кількості користувацьких додатків, що відображаються на передньому плані та сервісів, що виконуються в фоновому режимі, дозволяє приймати зважене рішення про доцільність виконання процедури омолодження, щоб уникнути перешкоджання використанню девайсу користувачем через перезавантаження тих чи інших процесів.

Аналіз системних процесів

Для аналізу старіння системних процесів виконано підрахунок кількості трендів збільшення використання пам'яті процесами та збільшення тривалості роботи збирача сміття серед всіх виконаних тестів з допомогою методу Манна-Кендала. На рисунку 3 зображено тільки ті процеси, в яких спостерігається старіння більше ніж в половині виконаних тестів і середній обсяг використовуваної оперативної пам'яті перевищує 20 Mb. Процес system показує найбільшу вразливість до старіння. В інших процесах також регулярно спостерігаються тренди збільшення використання пам'яті, однак відсутні тренди тривалості чи затримки роботи збирача сміття.

Серед розглянутих системних процесів, в яких спостерігаються тренди старіння, не виявлено сильних кореляцій із метриками відображення кадрів. Спостерігається незначна негативна кореляція між PSS camerasetter та Janky Frames Ratio, яка коливається між -0,12 і -0,19 для 7 із 8 стресових тестів. Така кореляція може пояснюватися тим, що збільшення об'єму пам'яті, яку використовує процес, дозволяє зменшити кількість затримок відображення кадрів. Припускається, що наявність чи відсутність кореляцій може залежати від конфігурації стресового тесту. Зокрема, в цій роботі стресовому навантаженню піддавався додаток камери, який використовувався приблизно 0,2 від всього часу виконання тестів. Внаслідок цього спостерігається постійний тренд збільшення використання пам'яті системним сервісом

cameraserver та кореляція із метрикою частки пропущених кадрів.

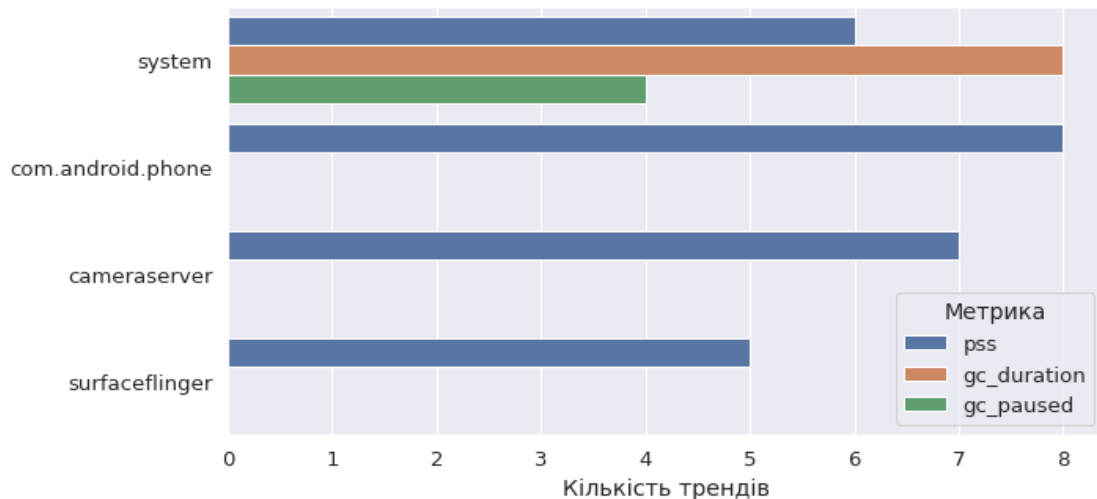


Рис. 3. Системні процеси Android, які найчастіше проявляють статистично значимі тренди збільшення використання пам'яті та збільшення тривалості роботи GC

Таким чином, аналіз системних процесів дозволяє зробити висновок, що в операційній системі Android ефектам старіння піддаються процеси *system* та *surfaceflinger*, а також процеси, які в більшій мірі залежать від діяльності користувача та роботи користувацьких додатків. Наприклад, *com.android.phone*, *cameraserver*, *audioserver* та інші. Тому, для реалізації засобів протидії старінню чи омолодження програмного забезпечення важливо дослідити і враховувати вплив різних процесів в залежності від конкретних умов використання мобільного пристрою.

Аналіз користувацьких додатків та фонових сервісів

Серед більшості користувацьких додатків та процесів спостерігаються тренди збільшення використання пам'яті, що є природньо. Трендів збільшення тривалості роботи збирача сміття не виявлено. В одному випадку з восьми було виявлено тренди збільшення метрик Frame Draw Time та Janky Frames Ratio для процесу *com.android.chrome*. Отримані результати можуть пояснюватись короткою тривалістю виконання стресових тестів.

Для уникнення старіння в користувацьких додатках важливо розуміти причини затримки кадрів та збільшення часу їх відображення (рис. 4). Виконані експерименти показують, що найбільше кадрів втрачається внаслідок перевантаження основних потоків відображення UI, пропусків вертикальної синхронізації, а також внаслідок повільного виконання команд малювання. Таким чином, можна зробити висновок, що зменшення впливу розглянутих чинників дозволить зменшити ефекти старіння загалом, тому важливо враховувати рекомендації, що стосуються уникнення виконання складних обчислень в основному потоці UI, ефективного використання методів малювання графіки, растрових зображень та інше.

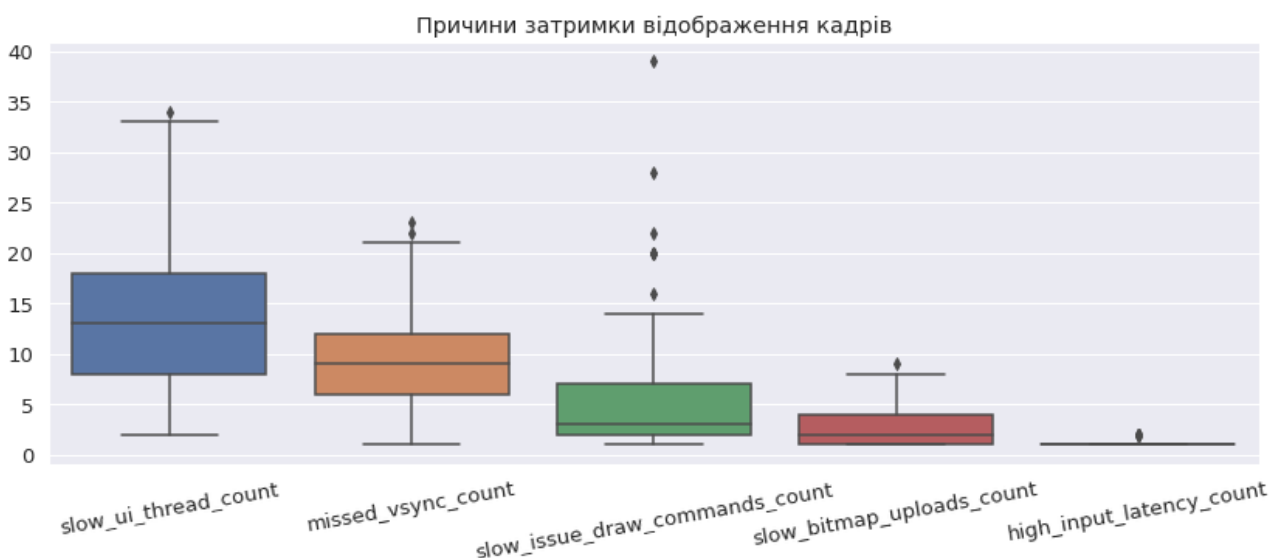


Рис. 4. Причини затримки відображення кадрів UI для виконаних експериментів

Висновки

Експериментальним шляхом досліджено явище старіння системних та користувацьких процесів

операційної системи Android.

Виконано аналіз оцінки процесів `oom_adj_score` з точки зору старіння програмного забезпечення. Розглянута оцінка може бути застосована для визначення стану використання системи користувачем в методах прогнозування старіння та виконання процедури омолодження. Визначено дві умовні групи процесів за `oom_adj_score`, а саме групи системних та користувацьких процесів.

Визначено, що системні процеси `system_server` та `surfaceflinger` можуть бути індикаторами старіння в системі, а такі процеси як `cameraserver`, `audioserver` можуть бути індикаторами в залежності від сценарію використання мобільного пристрою користувачем. Розглянуті процеси можуть бути застосовані для реалізації омолодження програмного забезпечення.

Користувачські додатки також вразливі до явища старіння, однак процедура омолодження для них не може бути застосована так, як до процесів на рівні системи. Тому, важливо вживати заходів для попередження виникнення помилок старіння, а саме, використовувати відповідні структури даних та алгоритми для ефективного управління пам'яттю, мінімізувати навантаження на основний потік UI та використовувати ефективні методи малювання графіки, щоб зменшити кількість затриманих кадрів.

В майбутніх роботах планується дослідження системних процесів та сервісів в задачах прогнозування старіння та виконання процедури омолодження. Для користувацьких додатків важливо розробити засоби, які б забезпечували розробників інформацією про стан старіння системи, що дозволило б приймати рішення про доцільність виконання важливих і ресурсомістких задач в умовах, коли система вже в стані з високою ймовірністю виникнення відмови через старіння.

Література

1. Parnas D. L. Software aging / D. L. Parnas // Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering. – 1994. – P. 279-287. URL: <https://doi.org/10.1109/ICSE.1994.296790>
2. Huang Y. Software rejuvenation: analysis, module and applications / Y. Huang, C. Kintala, N. Kolettis, N. Fulton // Proceedings of Twenty-Fifth International Symposium on Fault-Tolerant Computing. – 1995. – P. 381–390. URL: <https://doi.org/10.1109/FTCS.1995.466961>
3. Dohi T. Handbook of software aging and rejuvenation / T. Dohi, K. Trivedi, A. Avritzer // World Scientific Publishing Co Pte Ltd. – 2020. – P. 424. URL: <https://doi.org/10.1142/11673>
4. Grottke M. The fundamentals of software aging / M. Grottke, R. M. Jr, K. S. Trivedi // IEEE International Conference on Software Reliability Engineering Workshops. – 2008. – P. 1-6. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2008.5355512>
5. Cotroneo D. Software aging analysis of the android mobile os / D. Cotroneo, F. Fucci, A. K. Iannillo, R. Natella, R. Pietrantuono // IEEE 27th International Symposium on Software Reliability Engineering. – 2016. – P. 478-489. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSRE.2016.25>
6. Cotroneo D. A Comprehensive Study on Software Aging across Android Versions and Vendors / D. Cotroneo, A. K. Iannillo, R. Natella, R. Pietrantuono // Empirical Software Engineering. – 2020. – Volume 25(3). – P. 3357-3395.
7. Яковина В. С. Старіння програмного забезпечення мобільних додатків: аналіз проблематики / В.С. Яковина, Б. В. Угриновський // Науковий вісник НЛТУ України. – № 30(2). – С. 107–112. URL: <https://doi.org/10.36930/40300219>
8. Cotroneo D. A Configurable Software Aging Detection and Rejuvenation Agent for Android / Cotroneo D., Simone, L. D., Natella, R., Pietrantuono, R., Russo, S. // 11th Intl Workshop on Software Aging and Rejuvenation (WoSAR). – 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2019.00078>
9. Abdullah Z. H. Software Ageing Prevention from Software Maintenance Perspective – A Review / Z.H. Abdullah, J. H. Yahaya, Z. Mansor, A. Deraman // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering. – 2017. – Volume 9(3-4). – P. 93-96.
10. Wu H. Software aging in mobile devices: Partial computation offloading as a solution / H. Wu, K. Wolter // IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW). – 2015. – P. 125–131. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2015.7392057>
11. Yakovyna V. S. User-Perceived Response Metrics in Android OS for Software Aging detection / V.S. Yakovyna, B. V. Ugrynovskiy // IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). – 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322031>
12. Test UI Performance – Android Developers. URL: <https://developer.android.com/training/testing/performance>
13. Memory allocation among processes – Android Developers. URL: <https://developer.android.com/topic/performance/memory-management>
14. Garg S. A Methodology for Detection and Estimation of Software Aging / S. Garg, A. V. Moorsel, K. Vaidyanathan, K. S. Trivedi // Proc. of the 9th Intl. Symp. on Software Reliability Engineering (ISSRE). – 1998.

References

1. Parnas D. L. Software aging / D. L. Parnas // Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering. – 1994. – P. 279-287. URL: <https://doi.org/10.1109/ICSE.1994.296790>

2. Huang Y. Software rejuvenation: analysis, module and applications / Y. Huang, C. Kintala, N. Kolettis, N. Fulton // Proceedings of Twenty-Fifth International Symposium on Fault-Tolerant Computing. – 1995. – P. 381–390. URL: <https://doi.org/10.1109/FTCS.1995.466961>
3. Dohi T. Handbook of software aging and rejuvenation / T. Dohi, K. Trivedi, A. Avritzer // World Scientific Publishing Co Pte Ltd. – 2020. – P. 424. URL: <https://doi.org/10.1142/11673>
4. Grottke M. The fundamentals of software aging / M. Grottke, R. M. Jr, K. S. Trivedi // IEEE International Conference on Software Reliability Engineering Workshops. – 2008. – P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2008.5355512>
5. Cotroneo D. Software aging analysis of the android mobile os / D. Cotroneo, F. Fucci, A. K. Iannillo, R. Natella, R. Pietrantuono // IEEE 27th International Symposium on Software Reliability Engineering. – 2016. – P. 478–489. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSRE.2016.25>
6. Cotroneo D. A Comprehensive Study on Software Aging across Android Versions and Vendors / D. Cotroneo, A. K. Iannillo, R. Natella, R. Pietrantuono // Empirical Software Engineering. – 2020. – Volume 25(3). – P. 3357–3395.
7. Yakovyna V. S. Starinnia prohramnoho zabezpechennia mobilnykh dodatkov: analiz problematyky / V.S. Yakovyna, B. V. Uhrynovskiy // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – № 30(2). – S. 107–112. URL: <https://doi.org/10.36930/40300219>
8. Cotroneo D. A Configurable Software Aging Detection and Rejuvenation Agent for Android / Cotroneo D., Simone, L. D., Natella, R., Pietrantuono, R., Russo, S. // 11th Intl Workshop on Software Aging and Rejuvenation (WoSAR). – 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2019.00078>
9. Abdullah Z. H. Software Ageing Prevention from Software Maintenance Perspective – A Review / Z.H. Abdullah, J. H. Yahaya, Z. Mansor, A. Deraman // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering. – 2017. – Volume 9(3–4). – P. 93–96.
10. Wu H. Software aging in mobile devices: Partial computation offloading as a solution / H. Wu, K. Wolter // IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW). – 2015. – P. 125–131. URL: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2015.7392057>
11. Yakovyna V. S. User-Perceived Response Metrics in Android OS for Software Aging detection / V.S. Yakovyna, B. V. Uhrynovskiy // IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). – 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322031>
12. Test UI Performance – Android Developers. URL: <https://developer.android.com/training/testing/performance>
13. Memory allocation among processes – Android Developers. URL: <https://developer.android.com/topic/performance/memory-management>
14. Garg S. A Methodology for Detection and Estimation of Software Aging / S. Garg, A. V. Moorsel, K. Vaidyanathan, K. S. Trivedi // Proc. of the 9th Intl. Symp. on Software Reliability Engineering (ISSRE). – 1998

ЯКОВИНА В. С.
УГРИНОВСЬКИЙ Б. В.

ORCID ID: 0000-0003-0133-8591
ORCID ID: 0000-0002-4356-192X

vitaliy.s.yakovyna@lpnu.ua
bohdan.v.uhrynovskiy@lpnu.ua

Надійшла/Paper received : 23.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОТИАВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ НА ОСНОВІ ЛОГІКО-ІМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОДУКЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ ПЕТРІ

В роботі наведено результати досліджень методів побудови баз знань систем підтримки рішень диспетчерського керування системами електропостачання в кризових ситуаціях. Запропоновані моделі продукцій на основі мереж Петрі для оцінки параметрів надійності систем електропостачання. Реалізований алгоритм розрахунку параметрів надійності електричної мережі з використанням аналітичних матричних рівнянь мереж Петрі.

На основі отриманих моделей здійснена побудова інтелектуального програмного комплексу диспетчеризації з урахуванням показників надійності компонентів систем електропостачання. Застосований продукційний підхід подання знань як механізм формалізації ланцюгів відмов в схемах електропостачання, який реалізує кон'юнктивно-диз'юнктивні зв'язки висловлювань, асоційованих з відмовами.

Викладений підхід є однаковою і інваріантним по відношенню до предметних областей, що дозволяє будувати ефективні системи підтримки рішень в області оперативного протиаварійного керування енергетичною системою.

Ключові слова: продукція, надійність, автоматизація, ймовірність, відмова, схема, база знань.

IHOR KOTOV

Kryvyi Rih National University

AUTOMATION OF EMERGENCY CONTROL OF THE POWER SYSTEM ON THE BASIS OF LOGICAL- PROBABILISTIC SIMULATION OF RELIABILITY BY PRODUCTION PETRI NETS

The paper presents the results of research on methods for constructing knowledge bases of decision support systems for dispatch control of power supply systems in crisis situations. Models of products based on Petri nets are proposed for assessing the parameters of reliability of power supply systems. An algorithm for calculating the reliability parameters of the electrical network using analytical matrix equations of Petri nets has been implemented.

The work is devoted to the topical problem of intellectualization of power supply systems and means of automation of control of large power systems. The relevance of research in the field of building intelligent power systems is grounded. The basic requirements for the reliability of modern power supply systems are formulated. The concept of intellectualization of power systems and management of their reliability is a stable trend in the development of large energy systems and automated dispatch control systems. The solution to the problem lies in the implementation of intelligent decision support systems.

The main task of the work is to model the reliability of the power supply system in order to build an effective knowledge base about the parameters of the reliability of the power supply system. For this purpose, we use a probabilistic approach to assessing reliability. This approach is based on the concepts of the probability of failure-free operation and the probability of failure, which are expressed in terms of the failure rate.

On the basis of the obtained models, the construction of intelligent software systems for dispatching can be carried out taking into account the reliability indicators of the components of power supply systems. As a mechanism for formalizing failure circuits in power supply circuits, the production approach of knowledge representation is applied, which implements conjunctive-disjunctive connections of statements associated with failures.

The outlined approach is invariant in relation to subject areas, which makes it possible to build effective decision support systems in the field of operational emergency control of the energy system.

Keywords: production rule, reliability, automation, probability, failure, diagram, knowledge base.

Вступ

В сучасних умовах розвитку та інтеграції компонентів промислово-господарського комплексу значно зростають вимоги до якісного оперативного управління технологічними процесами. Неухильно зростаюча складність внутрішніх функціональних взаємозв'язків виробничих систем приводить до ускладнення процесів їх диспетчеризації. При цьому ростуть ризики та збитки від аварійних ситуацій, спричинених обставинами як екзогенного, так і внутрішнього характеру. К останнім відноситься так званий «людський фактор». Для зниження впливу цього фактора використовуються різні методики професійної та психофізіологічної підготовки диспетчерського персоналу. Однак, існують фізичні межі швидкості реакцій, стійкості до стресу, можливості логічного висновку та обробки даних, управління персоналом в аварійних і кризових ситуаціях. Подібні явища набувають особливого значення в системо-утворюючих галузях господарства, таких як енергетика, системи електропостачання [1–3].

Отже, слід вирішувати в комплексі два завдання: оперативна оцінка параметрів надійності компонентів систем електропостачання та інтелектуальна підтримка процесу прийняття диспетчерських рішень у кризових ситуаціях. Під кризовою ситуацією слід розуміти сукупність негативних факторів, що впливають на об'єкт керування протягом короткого часу, коли належна управлінська реакція персоналу практично неможлива. Рішення вказаних завдань вимагає вдосконалення математичного та апаратно-програмного забезпечення, пропорційного складності об'єктів керування, очікуваним фінансовим, екологічним та соціальним ризикам. При цьому, актуальним є питання про перенесення центру ваги на

завдання генерації стратегічних управлінських рішень. Такі завдання необхідно вирішувати на основі оперативної оцінки надійності компонентів промислових комплексів, яка базується на використанні баз знань (БЗ). Базы знань повинні бути побудовані на єдиному ідеологічному підході та забезпечувати уніфікацію подання та використання накопичених та структурованих семантичних характеристик промислових об'єктів.

Постановка проблеми

Для постановки проблеми була проведена порівняльна оцінка методів аналізу надійності систем електропостачання [4–6]. Аналіз надійності системи електропостачання може застосовувати статистичні методи на основі збору та обробки даних випробувань на надійність. Статистичні дані щодо функціонування обладнання є результатами фіксації фактів відмов при робочій експлуатації або в процесі запланованих цілеспрямованих випробувань (активних факторних експериментів). За результатами експериментів здійснюється оцінка показників надійності та перевірка гіпотез щодо їх законів розподілу. У окремій групі можна виділити логіко-ймовірнісні методи аналізу, що відрізняються наочністю, доступним аналітичним апаратом та гнучкістю по відношенню до типу схематичних рішень електропостачання. Для оптимізації надійності зазвичай використовуються економіко-математичні моделі. Оптимальність електропостачання за надійністю в економічному сенсі означає досягнення заданого економічного ефекту з мінімальними затратами виробничих ресурсів.

Проблема роботи вимагає організації логічної моделі надійності електропостачання з розглядом взаємозв'язків відмов. Такий підхід забезпечує можливість застосування логічних моделей подання знань для аналізу мереж відмов. Тому є необхідним розроблення таких баз знань, які адекватно представляються логіко-ймовірною моделлю надійності. У якості теоретичної бази для реалізації логіки розповсюдження відмов в електричних мережах приймемо апарат мереж Петрі. Для досягнення алгоритмічної ефективності у роботі необхідно реалізувати матричне подання мереж Петрі для аналізу надійності. Після формування матричних рівнянь їх можна обробляти методами матричних обчислень. При цьому, природно, слід враховувати значну розрідженість матриць вхідних та вихідних функцій мережі Петрі. На базі сформованого математичного апарату слід реалізовувати безліч різноманітних моделей надійності для різних схем електропостачання. На основі отриманих результатів має бути сформована база знань. У критичних ситуаціях при дефіциті часу будуть використовуватися готові оцінки параметрів надійності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оперативна оцінка надійності компонентів системи електропостачання базується на глибокій та опрацьованій математичній базі. Тут слід аналізувати як чисто теоретичні та строгі підходи, так і методики, засновані на практичному досвіді експлуатації та управління [7–10]. Спираючись на методологію теорії надійності для електроенергетичних систем, створені потужні програмні комплекси оцінки показників надійності [11]. З використанням такого розробленого програмного забезпечення можлива побудова практичних баз знань для їх подальшого використання в системах підтримки прийняття рішень (СППР) стосовно до аварійних станів систем електропостачання. Аналіз показує, що оперативна оцінка надійності може вироблятися на основі логіко-ймовірних моделей дерева відмов [12, 13]. При цьому ієрархія відмов реалізує системний пошук на графі дерева, в якому події об'єднані логічними зв'язками («І», «АБО»). Тоді реалізація подій відмов може бути виражена через кон'юнктивні та диз'юнктивні зв'язки формальних висловлювань. Враховуючи таку модель, представляється можливим моделювання взаємозв'язків відмов (і надійності) обладнання продукційними мережами відповідно типів «І» та «АБО». Функціонування продукції відрізняється високим ступенем паралелізму, тому є корисним застосування апарату мереж Петрі для моделювання потоків подій у продукційних мережах [14–16]. Матричний підхід до аналізу мереж Петрі має деякі обмеження, однак детермінованість та однаковість цього підходу забезпечує його надійну алгоритмізацію та програмну реалізацію.

Метою роботи є розробка математичних моделей оцінки надійності схем електричних мереж на основі апарату мереж Петрі для побудови програмних засобів автоматизації протиаварійного управління режимами енергосистем.

Виклад основного матеріалу

Основною задачею роботи є моделювання продукційною мережею надійності системи електропостачання. Для цього використовується ймовірнісний підхід до оцінки надійності. В основі цього підходу лежать поняття ймовірності безвідмовної роботи (1) та ймовірності відмови (2), які подаються через інтенсивність відмов (3) [12]. Якщо для спрощення прийнято, що інтенсивність відмов обладнання не змінюється протягом часу при віддаленні від початкового періоду роботи, то можна прийняти

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

$$q(t) = 1 - p(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const}. \quad (3)$$

Вирази характеризують найпростіший потік відмов і експонентний закон розподілу напрацювання до відмови $F(t)$:

$$F(t) = q(t). \quad (4)$$

У цьому випадку інтенсивність відмов обладнання визначається наступним чином:

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{1 - F(t)}. \quad (5)$$

Для моделювання відмов установок необхідно враховувати в них послідовне і паралельне з'єднання одиниць обладнання. При послідовному з'єднанні елементів обладнання ймовірність безвідмовної роботи установки визначається ймовірністю безвідмовної роботи всіх елементів обладнання за період t :

$$p(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (6)$$

При паралельному з'єднанні елементів обладнання ймовірність безвідмовної роботи установки визначається співвідношенням резервних і елементів що відмовили [12]:

$$p(t) = \sum_{k=r}^n C_n^k P^k(t) q^{n-k}(t) \quad (7)$$

де

$$C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!k!};$$

n – загальна кількість одиниць обладнання;

k – поточний номер одиниці обладнання;

r – кількість обов'язкових для роботи одиниць обладнання.

Маючи в своєму розпорядженні математичну базу імовірнісного методу розрахунку надійності електропостачання, можна переходити до опису системи відмов логіко-імовірнісними моделями. Одним з наочних представлень таких моделей є дерево відмов. Природно, що побудова дерева відмов є розумним при порівняно невеликій кількості аналізованих відмов. У найбільш загальному вигляді умова виникнення відмови обладнання може бути сформульована в наступному вигляді

$$\bar{Y} = \bigcup_{k=1}^N S_k, \quad (8)$$

$$S_k = \bigcap_{i \in I_k} \bar{y}_i \bigcap_{j \in J_k} \bar{y}_j,$$

де S_k – мінімальний перетин подій, що приводять до відмови k -го виду;

\bar{y}_i – непрацездатний стан i -го елемента, що приводить до k -ї відмови;

\bar{y}_j – непрацездатний j -й стан системи, при відмові k -ого виду.

Комбінація подій у формулі (8) оцінюється шляхом аналізу структури системи електропостачання та її проектних характеристик. На основі встановлення причинно-наслідкових зв'язків подій і станів системи і їх об'єднання за допомогою логічних операцій можна отримати структуру дерева відмов. При розгляді події відмови (або стану) як висловлювання дерево відмов можна висловити складним кон'юнктивно-диз'юнктивним висловлюванням. При цьому для спрощення приймають можливість не враховувати кон'юнкції високих порядків.

Дерево відмов, яке моделює ланцюги подій і розвиток відмов, можна розглядати як продукційну мережу, реалізовану на імплікації висловлювань. У такій мережі антецеденти продукцій є кон'юнкції або диз'юнкції висловлювань відмов і станів, а консеквенти – результуючі одиничні висловлювання. При цьому ймовірності відмов і подій (станів) в системі визначаються за виразами (6) і (7).

В роботі [14] показано, що для моделювання і наступних програмних реалізацій продукційних мереж в інтелектуальних системах підтримки рішень є раціональним застосування апарату мереж Петрі. Даний формалізм забезпечує наочність моделі і доступність для алгоритмізації обчислювальних процесів [15, 16]. Основною перевагою цієї формальної системи, безсумнівно, є моделювання паралелізму і врахування кількісних характеристик сигналів, що проходять по мережі. Для аналізу мережі Петрі скористаємося їх матричним представленням [16, 17]. Матричний підхід до аналізу мереж Петрі забезпечує компактну запис, наочність, однаковість і дозволяє ефективніше вирішувати ряд завдань, наприклад, завдання досяжності. Матричний підхід заснований на визначенні двох матриць – D^- і D^+ , які представляють собою відповідно вхідну і вихідну функції мережі. Тоді матрична форма подання мережі Петрі буде описуватися наступним чином

$$C = (P, T, D^-, D^+) \quad (9)$$

$$D^-[j, i] = \#(p_i, I(t_j))$$

$$D^+[j, i] = \#(p_i, O(t_j))$$

де $\#(p_i, I(t_j))$ – кратність вхідний позиції p_i для переходу t_j .

$$\delta(\mu, t_j) = \mu + e[j] \cdot D$$

Результат запуску переходу t_j при маркуванні μ визначиться виразом (10)

$$D = D^+ - D^- \quad (10)$$

де $e[j]$ – вектор-рядок з ненульової j -ї компонентою;
 D – загальна матриця змін.

При спрацюванні послідовності переходів $t_{j1}t_{j2}...t_{jk}$ вираз (10) набуде вигляду (11)

$$\delta(\mu, \sigma) = \mu + f(\sigma) \cdot D \quad (11)$$

де $\sigma = t_{j1}t_{j2}...t_{jk}$ – послідовність запусків переходів;
 $f(\sigma)$ – відображення Паріха, вектор запусків послідовності $t_{j1}t_{j2}...t_{jk}$;
 μ – початкове маркування продукційної мережі.

Мета моделювання продукційної мережі мережею Петрі полягає в отриманні результуючого маркування мережі $\mu' = \delta(\mu, \sigma)$ на основі вихідного – μ . При цьому повинна забезпечуватися умова досяжності результуючого маркування. Якщо маркування μ' досягне з маркування μ , то це означає існування послідовності переходів, яка реалізує відображення $\mu \rightarrow \mu'$. Таку послідовність переходів необхідно знайти. Іншими словами вектор невідомих визначається як $x = f(\sigma)$, і матричне рівняння, яке потребує вирішення, має наступний вигляд

$$\mu' = \mu + x \cdot D \quad (12)$$

Розглянемо практичне застосування запропонованого підходу до моделювання та оцінки надійності системи електропостачання для автоматизації протиаварійного керування енергосистемою. Як приклад використовуємо фрагмент схеми живлення шин власних потреб електростанції для побудови бази знань інтелектуальної системи диспетчеризації. Схема наведена на рис. 1. Для опису прикладу розглянемо частину дерева відмов, пов'язану з оцінкою надійності живлення шин СШ2 в залежності від аварійних станів шин СШ1. Дерево відмов наведено на рис. 2.

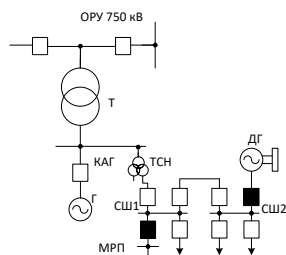


Рис. 1. Фрагмент схеми живлення власних потреб електростанції

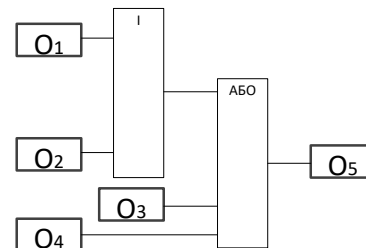


Рис. 2. Фрагмент дерева відмов для оцінки надійності живлення шин СШ2

На рис. 2 показані типи правил об'єднання відмов – «І», «АБО», – а також такі види відмов: O1 – пошкодження приєднань секції СШ1, O2 – відмова повторного включення живлення шин СШ1, O3 – пошкодження збірних шин власних потреб СШ1, O4 – відмова секційного вимикача збірних шин власних потреб СШ1, O5 – відключення живлення секції СШ2.

Отримане дерево відмов є продукційна мережа і може моделюватися мережею Петрі. Сформуємо мережу Петрі, для фрагмента дерева відмов, наведеного на рис. 2. Отримана мережа Петрі показана на рис. 3. У цій мережі позиції p3 і p8 є вирішальними і застосовуються в подальшому при алгоритмізації та програмної реалізації.

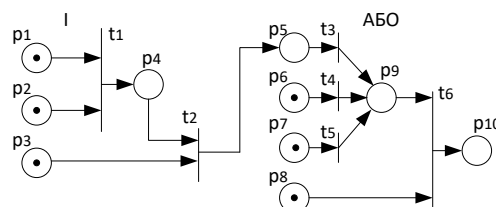


Рис. 3. Мережа Петрі фрагмента дерева відмов

Позиції p1, p2, p6, p7 характеризують події відмов, які можуть наступити одночасно. Таким чином моделюється можлива паралельність у відмовах елементів обладнання.

Реалізуємо алгоритм спрацювання мережі, використовуючи матричний підхід до аналізу мереж Петрі. В якості стартового маркування приймемо маркування, показане на рис. 3: $\mu^0 = (1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$.

Вихідні матриці вхідних і вихідних функцій мережі відповідно мають вигляд:

$$D^- = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad D^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Вихідна матриця:

$$D = D^+ - D^- = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Послідовність переходів:

$$f(\sigma)^0 = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$$

Нове маркування:

$$\begin{aligned} \mu^1 &= \mu^0 + f(\sigma)^0 = (1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0) + (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) = \\ &= (1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0) + (-1, -1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0) = (0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0) \end{aligned}$$

Отримане маркування μ^1 не є термінальним і повинне розглядатися в якості стартового для наступної ітерації. Аналогічним чином були проведені наступні ітераційні кроки за формулою (12)

$$\mu^{i+1} = \mu^i + x^i \cdot D^i$$

З урахуванням одинарних кратностей переходів термінальне маркування має вигляд

$$\mu^4 = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1)$$

На основі векторів послідовностей переходів і показників надійності елементів системи електропостачання визначимо ймовірність відключення живлення секції СШ2. Для розрахунку скористаємося показниками ймовірностей відмов з [12]:

$$q_{o1} = 0.0296, q_{o2} = 0.0020, q_{o3} = 0.0296, q_{o4} = 0.022.$$

Врахуємо, що в продукційній мережі є кон'юнктивні і диз'юнктивні поєднання подій відмов. Тоді, відповідно до порядку спрацьовування переходів продукційної мережі, ймовірність відключення живлення секції СШ2 визначиться наступним чином.

При спрацьовуванні першої продукції отримуємо:

$$q_1 = q_{o1}q_{o2} = 0.0296 \cdot 0.0020 = 0.0000592$$

Спрацьовування другої продукції дає наступний результат:

$$q_2 = q_{o5} = 1 - (1 - q_1)(1 - q_3)(1 - q_4) = 1 - 0.96821 = 0.03179.$$

Таким чином, ймовірність відмови відключення живлення секції дорівнює 0,03179, а ймовірність безвідмовної роботи відповідно

$$p_2 = 1 - q_2 = 1 - 0.03179 = 0.96821.$$

На основі отриманих моделей надійності схем електричної мережі була побудована база знань для оцінки і ліквідації аварійних ситуацій. Дана база знань є основним компонентом інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень диспетчера енергосистеми. На рис. 4 наведена головна форма розробленого програмного комплексу.

Результатом циклу роботи СППР є нормативно-інструктивні матеріали протиаварійного диспетчерського керування, отримані з рівнів професійних онтологій БЗ, а також величини і напрямки керуючих коригувальних впливів. На основі аналізу результатів тестування розробленого програмного комплексу СППР можна зробити висновок про те, що СППР відповідає всім вимогам, сформульованим у роботі, функціонує відповідно до розроблених структурно-логічних моделей і підтверджує їх практичну працездатність в промислових умовах.

Розроблена СППР, яка побудована на основі моделей надійності продукційних мереж Петрі, передбачає її використання в якості інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень в складі автоматизованих систем контролю і управління електроенергетичних комплексів і може застосовуватися для автоматизації процесу прийняття рішень під час оперативних перемикань схем, регулювання рівнів напруги і перетоків потужності в електроенергетичних системах в нормальних і аварійних режимах.

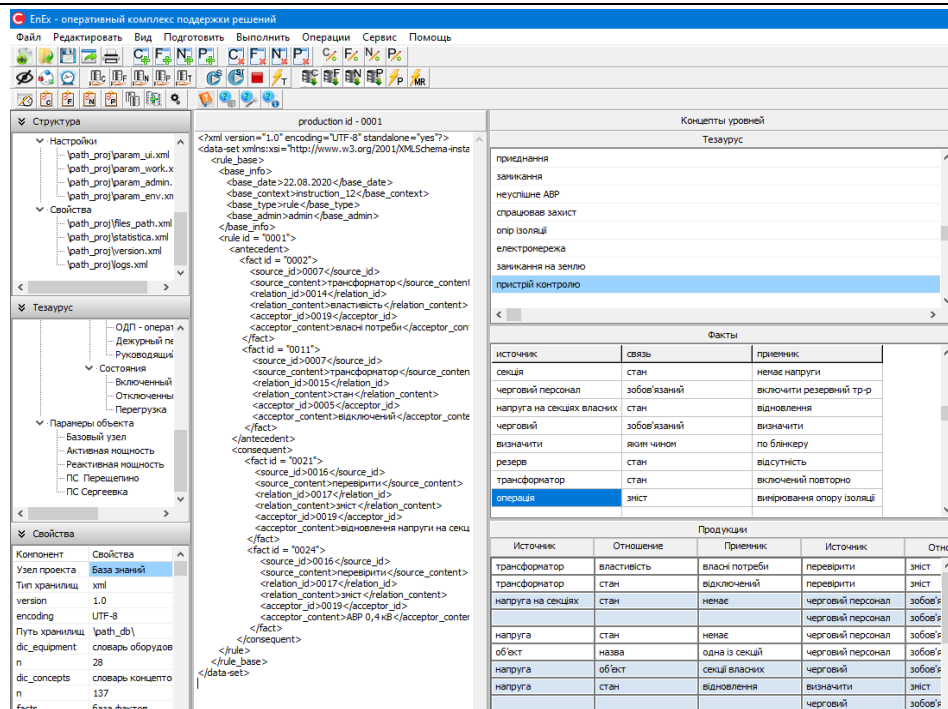


Рис. 4. Головная форма программного комплекса автоматизации противаварийного управления энергообъектом

Висновки

В роботі розглянуто задачу побудови інтелектуальних програмних комплексів диспетчеризації з урахуванням показників надійності компонентів систем електропостачання. Як механізм формалізації ланцюгів відмов в схемах електропостачання застосований продукційний підхід представлення знань, який реалізує кон'юнктивні-диз'юнктивні зв'язки висловлювань, асоційованих з відмовами. Моделювання продукцій здійснено на мережах Петрі. При цьому розглянута можливість аналізу мереж Петрі на базі матричного подання. Основною позитивною якістю розглянутого підходу є його однаковість і інваріантність по відношенню до предметних областей, що дозволяє будувати ефективні системи підтримки рішень в області керування енергетичними комплексами. В якості основних напрямків подальших досліджень можуть розглядатися методи уніфікації подання знань області диспетчеризації електроенергетичних систем і побудова єдиного ядра програмної системи підтримки диспетчерських рішень.

Література

1. Фокин Ю.А. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства : в 5 кн. : практ. пособие / под ред. В.А. Веникова. Кн. 3. Надежность и эффективность сетей электрических систем // Ю.А. Фокин. – М. : Высш. шк., 1989. – 151 с.
2. Калентионик Е.В. Оперативное управление в энергосистемах : учеб. пособие / под общ. ред. В.Т. Федина. – Минск : Выш. шк., 2007. – 351 с.
3. Дьяков А.И. Диспетчерское управление мощными энергообъединениями / Дьяков А.И., Окин А.А., Семенов В.Л. – М. : Издательский дом МЭИ, 1996. – 296 с.
4. Осак А.Б. Методы мониторинга состояния ЭЭС и оценки режимной надежности по критерию управляемости ЭЭС / Осак А.Б., Шалагинов А.И., Панасецкий Д.А., Бузина Е.Я. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 65. Надежность либерализованных систем энергетики / отв. ред. Н.И. Воропай. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2015. – С. 337–346.
5. Курбацкий В.Г. Мониторинг и оценка режимной надежности ЭЭС на базе алгоритмов машинного обучения / Курбацкий В.Г., Томин Н.В. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 65. Надежность либерализованных систем энергетики / отв. ред. Н.И. Воропай. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2015. – С. 535–544.
6. Воропай Н.И. Энергетическая безопасность – надежность систем энергетики – надежность энергоснабжения: соотношение понятий и аспектов исследования / Воропай Н.И., Криворучий Л.Д., Пяткова Н.И. и др. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики – Мурманск, 1996. – Вып. 48: Актуальные проблемы надежности систем энергетики в новых условиях – С. 74–80.
7. Манов Н.А. Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем / Манов Н.А., Хохлов М.В. – Сыктывкар, 2010. – 292 с.
8. Биллингтон Р. Оценка надежности электроэнергетических систем / Биллингтон Р., Аллан Р. ; пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

9. Надежность систем энергетики и их оборудования : справочник / под ред. Ю.Н. Руденко. Том. 1. Общие модели анализа и синтеза надежности систем энергетики. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 480 с.
10. Фокин Ю.А. Оценка надежности систем электроснабжения / Фокин Ю.А., Туфанов В.А. – М. : Энергоиздат, 1981. – 224 с.
11. Строганов А. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем / Строганов А., Жаднов В., Полесский С. // Компоненты и технологии. – 2007. – № 5. – С. 183–190.
12. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике : учеб. пособие для ВУЗов / Гук Ю.Б. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ие, 1990. – 208 с.
13. Fault tree-analysis (FTA) IEC 1025: 1990. Стандарт МЭК Анализ дерева неполадок. СИФ НТЦ ПБ-707. ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990). Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей, 1990.
14. Котов И.А., Константинов Г.В. Представление логических моделей принятия решений в производственных экспертных системах на основе аппарата сетей / Петри Котов И.А., Константинов Г.В. // Разработка рудных месторождений : научно-технический сборник. – Кривой Рог : КТУ, 2008. – Вып. 92. – С. 189–193.
15. Представление знаний в экспертных системах / сост. В.А. Морозова, В.И. Паутов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 120 с.
16. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Питерсон Дж. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
17. Murata T. Petri Nets, Marked Graphs and Circuit-System Theory. IEEE Circuits and Systems Society Newsletter, 11. No. 3. 1977, p. 2–12.

References

1. Fokin YU.A. Ehnergoberegayushchaya tekhnologiya ehlektrosnabzheniya narodnogo khozyajstva : v 5 kn. : prakt. posobie / pod red. V.A. Venikova. Kn. 3. Nadezhnost' i ehffektivnost' setej ehlektricheskikh sistem // YU.A. Fokin. M. : Vyssh. shk., 1989. – 151 s.
2. Kalentionok E.V. Operativnoe upravlenie v ehnergosistemakh : ucheb. posobie / pod obshch. red. V.T. Fedina. – Minsk : Vyssh. shk., 2007. – 351 s.
3. D'yakov A.I. Dispetcherskoe upravlenie moshchnymi ehnergoob"edineniyami / D'yakov A.I., Okin A.A., Semenov V.L. – M. : Izdatel'skij dom MEHI, 1996. – 296 s.
4. Osak A.B. Metody monitoringa sostoyaniya EHEHS i ocenki rezhimnoj nadezhnosti po kriteriyu upravlyaemosti EHEHS / Osak A.B., Shalaginov A.I., Panaseckij D.A., Buzina E.YA. // Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem ehnergetiki. Vyp. 65. Nadezhnost' liberalizovannykh sistem ehnergetiki / otv. red. N.I. Voropaj. – Irkutsk : ISEHM SO RAN, 2015. – S. 337–346.
5. Kurbackij V.G. Monitoring i ocenka rezhimnoj nadezhnosti EHEHS na baze algoritmov mashinnogo obucheniya / Kurbackij V.G., Tomin N.V. // Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem ehnergetiki. Vyp. 65. Nadezhnost' liberalizovannykh sistem ehnergetiki / otv. red. N.I. Voropaj. – Irkutsk : ISEHM SO RAN, 2015. – S. 535–544.
6. Voropaj N.I. Ehnergeticheskaya bezopasnost' – nadezhnost' sistem ehnergetiki – nadezhnost' ehnergosnabzheniya: sootnoshenie ponyatij i aspektov issledovaniya / Voropaj N.I., Krivoruckij L.D., Pyatkova N.I. i dr. // Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem ehnergetiki – Murmansk, 1996. – Vyp. 48: Aktual'nye problemy nadezhnosti sistem ehnergetiki v novykh usloviyakh – S. 74–80.
7. Manov N.A. Metody i modeli issledovaniya nadezhnosti ehlektroehnergeticheskikh sistem / Manov N.A., Khokhlov M.V. – Syktyvkar, 2010. – 292 s.
8. Billinton R. Ocenka nadezhnosti ehlektroehnergeticheskikh sistem / Billinton R., Allan R. ; per. s angl. – M. : Ehnergoatomizdat, 1988. – 288 s.
9. Nadezhnost' sistem ehnergetiki i ikh oborudovaniya : spravochnik / pod red. YU.N. Rudenko. Tom. 1. Obshchie modeli analiza i sinteza nadezhnosti sistem ehnergetiki. – M. : Ehnergoatomizdat, 1994. – 480 s.
10. Fokin YU.A. Ocenka nadezhnosti sistem ehlektrosnabzheniya / Fokin YU.A., Tufanov V.A. – M. : Ehnergoizdat, 1981. – 224 s.
11. Stroganov A. Obzor programnykh kompleksov po raschetu nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem / Stroganov A., Zhadnov V., Polesskij S. // Komponenty i tekhnologii. – 2007. – № 5. – S. 183–190.
12. Guk YU.B. Teoriya nadezhnosti v ehlektroehnergetike : ucheb. posobie dlya VUZov / Guk YU.B. L. : Ehnergoatomizdat. Leningr. Otd-ie, 1990. 208 s.
13. Fault tree-analysis (FTA) IEC 1025: 1990. Standart MEHK Analiz dereva nepoladok. SIF NTC PB-707. GOST R 51901.13-2005 (MEHK 61025:1990). Menedzhment riska. Analiz dereva nespravnostej, 1990.
14. Kотов И.А., Константинов Г.В. Представление логических моделей принятия решений в производственных экспертных системах на основе аппарата сетей / Петри Котов И.А., Константинов Г.В. // Разработка рудных месторождений : научно-технический сборник. – Кривой Рог : КТУ, 2008. – Вып. 92. – С. 189–193.
15. Predstavlenie znaniy v ehkspertnykh sistemakh / sost. V.A. Morozova, V.I. Pautov. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2017. – 120 s.
16. Piterson Dzh. Teoriya setej Petri i modelirovanie sistem / Piterson Dzh. ; per. s angl. □ M. : Mir, 1984. – 264 s.
17. Murata T. Petri Nets, Marked Graphs and Circuit-System Theory. IEEE Circuits and Systems Society Newsletter, 11. No. 3. 1977, p. 2–12.

I.A. KOTOV

ORCID: 0000-0003-2445-6259

E-mail: rioexito@gmail.com

Надійшла/Paper received : 26.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

В.Г. КРАСИЛЕНКО, Н.П. ЮРЧУК

Вінницький національний аграрний університет

Д.В. НІКІТОВИЧ

Вінницький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ІЗОМОРФНИХ МАТРИЧНИХ ПРЕДСТАВЛЕНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОКОЛУ УЗГОДЖЕННЯ СЕКРЕТНИХ КЛЮЧІВ- ПЕРЕСТАНОВОК ЗНАЧНОЇ РОЗМІРНОСТІ

Для моделювання протоколу узгодження сторонами секретних ключів-перестановок значної розмірності запропоновано їх нові ізоморфні матричні представлення та розглянуто особливості та переваги таких представлень. Наведено результати моделювання процесів генерування матриць перестановок та їх степенів, як базових процедур запропонованого протоколу узгодження ключа у вигляді ізоморфної перестановки значної розмірності. Виконані модельні експерименти, як прискорених методів піднесення перестановок у значні степені, наприклад, з наборами фіксованих матричних представлень, степені яких відповідають відповідним вагам розрядів двійкових чи інших кодових представлень вибраних випадкових чисел, так і протоколу в цілому, продемонстрували адекватність та переваги ізоморфних представлень функціонування моделей та запропонованого протоколу узгодження секретного ключа-перестановки.

Ключові слова: матричні представлення, ізоморфні ключі-перестановки, криптограми, криптографічне перетворення.

VLADIMIR G. KRASILENKO, NATALIYA P. YURCHUK

Vinnytsia National Agrarian University

DIANA V. NIKITOVICH

Vinnytsia National Technical University

THE APPLICATION OF ISOMORPHIC MATRIX REPRESENTATIONS FOR MODELING THE PROTOCOL FOR THE FORMATION OF SECRET KEYS-PERMUTATIONS OF HUGE SIZES

A The article considers the peculiarities of the application of isomorphic matrix representations for modeling the protocol of matching secret keys-permutations of significant dimension. The situation is considered when for cryptographic transformations of blocks with a length of $256 * 256$ bytes, presented in the form of a matrix of a black-and-white image, it is necessary to rearrange all bytes in accordance with the matrix keys. To generate a basic matrix key and the appearance of the components KeyA and KeyB in the format of two black and white images, a software module using engineering mathematical software Mathcad is proposed.

Simulations are performed, for example, with sets of fixed matrix representations. The essence of the protocol of coordination of the main matrix of permutations by the parties is considered. Also shown are software modules in Mathcad for accelerated methods that display the procedure of iterative permutations in a permutation matrix isomorphic to the elevation of the permutation matrix to the desired degree with a certain side, corresponding to specific bits of bits or other code representations of selected random numbers. It is demonstrated that the parties receive new permutation matrices after the first step of the protocol, those sent to the other party, and the identical new permutation matrices received by the parties after the second step of the protocol, ie the secret permutation matrix.

Similar qualitative cryptographic transformations have been confirmed using the proposed representations of the permutation matrix based on the results of modeling matrix affine-permutation ciphers and multi-step matrix affine-permutation ciphers for different cases when the components of affine transformations are first executed in different sequences, and then permutation using the permutation matrix, or vice versa. The model experiments performed in the study demonstrated the adequacy of the functioning of the models proposed by the protocol and methods of generating a permutation matrix and demonstrated their advantages.

Keywords: matrix representations, isomorphic permutation keys, cryptograms, cryptographic transformations.

Вступ

Поява та дослідження нового класу криптосистем матричного типу (КМТ) [1–4] на основі їх матрично-алгебраїчних моделей (ММ) криптографічних перетворень (КП) 2D(3D)-масивів, зображень (З), як узагальнення відомих систем з форматами даних скалярного типу на випадки матрично-тензорних форматів, виявлені їх переваги, сприяли інтенсифікації досліджень КМТ, ММ та демонстрації цілої низки нових їх покращень та застосувань [5–10]. Низка нових узагальнених ММ, матричних афінних та афінно-перестановочних шифрів (МАПШ), їх модифікацій досліджувались та використовувались при створенні покращених цифрових підписів у [11–15]. ММ мають розширені функціональні можливості, покращену крипто-стійкість, при їх апаратних реалізаціях легше відображаються на матричні процесори, дозволяють перевіряти цілісність криптограм чорно-білих, кольорових зображень і наявність у них перекручувань [5, 7], створювати блокові [6], параметричні [8], багатосторінкові [9] моделі з їх значною стійкістю [10]. Базовими процедурами КП у матричних моделях перестановок (ММ_П), є множення матриць та деякі інші елементарні операції за модулем над матрицями. А тому для ММ_П необхідно матриці байтів, утворених з рядків, колонок, векторів, що в унітарних чи інших кодах відображають символи, коди, байти, множити на матриці перестановок (МП). Практично для всіх відомих алгоритмів та шифрів включно з новостворюваними [16–27] процедури переставляння бітів, байтів чи їх груп є найбільш поширеними та обов'язковими. Зауважимо, що для збільшення ентропії криптограм З при їх КП на основі ММ_П та зміни їх гістограм необхідні декомпозиція R,G,B складових і їх бітових зрізів та навіть декілька матричних ключів (МК) типу МП [3–5]. Низка таких (поточних, покрокових, по-фреймових) псевдовипадкових МК, які б

відповідали вимогам, швидко генерувались, потрібна і для маскування, КП відео-файлів чи потоку блоків з файлів, зображень при їх значних розмірах [16–21].

Постановка проблеми

Отже, для КП, МАМ є гостра необхідність формування з головного МК низки МП, які б задовольняли ряду вимог. Оскільки питання узгодження головного МК загального виду розглядались в [28, 29], але не послідовності МП, а методи генерування потоку МК перестановок з головного МК частково розглядались в [30], але тільки для бітових МП невеликих розмірів (256×256), то **метою роботи** є спроба не тільки запропонувати, промодельювати, дослідити протокол узгодження секретного (головного) МК (МП значної розмірності), тобто ГМП, але й на основі застосування нових ізоморфних представлень удосконалити та адаптувати вид, структуру ГМП такої чи ще більшої розмірності до формату 3 і до швидких апаратних рішень, проаналізувати цей протокол, модифікувати та прискорити процес формування потоку МП з такої ГМП для МАМ КП у криптосистемах МТ.

Виклад основного матеріалу

Огляд нових концептуальних підходів при створенні МТ шифрів, особливо багатфункціональних параметричних блочних [4], їх аналіз показав, що доцільно використовувати для досягнення мети ізоморфізм різних представлень перестановок (матриць чи векторів), що виступають у ролі головного ключа (ГК) та раундових, покровових чи по-блокових МК типу МП, тобто під-ключів (ПК), а матриці перестановок Р чи їх необхідні степені у моделях КП формувати та обробляти у ізоморфних просторах, які є більш зручними та адекватними використанням засобам. З робіт [6, 8, 9] відомо, що при КП на основі МАПШ, ВАПШ криптограми для деяких видів текстово-графічних документів (ТГД) і 3, особливо для поблочних МАМ, при використанні одного ПК для всіх блоків є недостатніми по стійкості. Та попри це генерація низки ПК типу МП, що створюються з ГК (ГМП зі збільшеною на порядки розмірністю), дозволяє успішно вирішувати цю проблему. А тому актуальною та важливою є задача узгодження секретного ГК типу МП значної розмірності.

Розглянемо ситуацію, коли для КП блоків, кожен з яких представлений у вигляді матриці чорно-білого зображення, що еквівалентно значній довжині блоків у 256×256 байтів, необхідно переставити всі байти блока у відповідності до МП. В цьому випадку МП в загально прийнятому вигляді повинна бути квадратною з $N \times N$ елементами («0» чи «1»), де $N=2^{16}$. Потужність множини можливих таких МП, тобто їх кількість оцінюється, як $N!$, що дає для цього N колосальні значення (**65536!**), які навіть уявити важко. Зауважимо, що кожному байту блока можна представити і за допомогою двох байтів, що вказують дві координати (рядок та стовпчик) блока. Це дає нам можливість двома блоками байтів, тобто двома матрицями (3) розміром 256×256 елементів, представляти будь-яку перестановку, ставлячи в кожній однаковій адресі цих блоків відповідну старшому байту (в першому блоці) та молодшому байту (в другому блоці) координати нової адреси вибраного для перестановки байту. Отже, любую МП можна однозначно ізоморфно відобразити двома матрицями розміром 256×256 , елементи яких приймають значення з діапазону 0-255, з тією особливістю, що кожна з 256 їх градацій інтенсивності в кожній з цих двох матриць (3) повторюється рівно по 256 раз. Для перевірки адекватності та особливостей застосування таких запропонованих ізоморфних представлень були виконані модельні експерименти стосовно створення на їх основі протоколу узгодження сторонами секретних ключів-перестановок значної розмірності. На рис. 1 показано вигляд модуля у Mathcad для генерування базового (головного) МК (МП) та вигляд його складових KeyA та KeyB у форматі двох чорно-білих зображень. Гістограми складових KeyA та KeyB МП зображені на рис. 2 та мають вигляд горизонтальних ліній, як і очікувалось. Відмітимо, що таке пропонуване ізоморфне у вигляді двох зображень представлення МП дає нам гарну можливість використати ці складові KeyA та KeyB і у якості двох секретних МК загального типу, наприклад, як адитивний та мультиплікативний ключі у МАПШ чи іншій МАМ. Про це свідчать результати моделювання КП зображення (Im) МАПШ за допомогою пропонованої МП та її складових, як ключів, що показані на рис. 3 з матрицями явного 3 (Im), проміжних, його криптограм (Сmap) та перевірних зображень. А гістограми явного 3, його криптограм після кожного КП афінними складовими цієї МП зображені також на рис. 2. Вони свідчать про якісні КП навіть дуже специфічних зображень.

Ці та низка інших проведених модельних експериментів підтвердили, що КП зображень і довільних блоків байтів на основі МАПШ наявними 2-а складовими з ізоморфного вигляду МП дають якісні криптограми CD_ImAa та CD_ImAm, гістограми яких H_CDa та H_CDM настільки близькі до рівномірного закону розподілу, що навіть для 3 (Im) з ентропією 0,738 ентропія криптограм відрізняється від теоретично максимальної (8 біт) всього на долі відсотка, збільшуючись аж до 7,99.

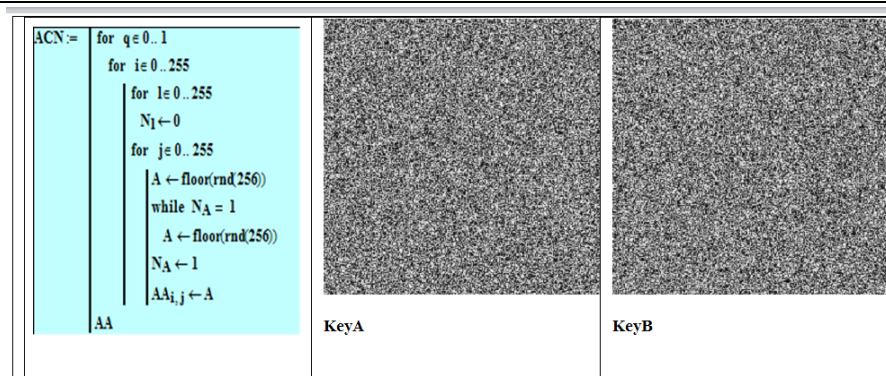


Рис. 1. Вікно Mathcad. Програмний модуль для генерування базового (головного) МК (МП) та вигляд складових KeyA та KeyB у форматі двох чорно-білих зображень

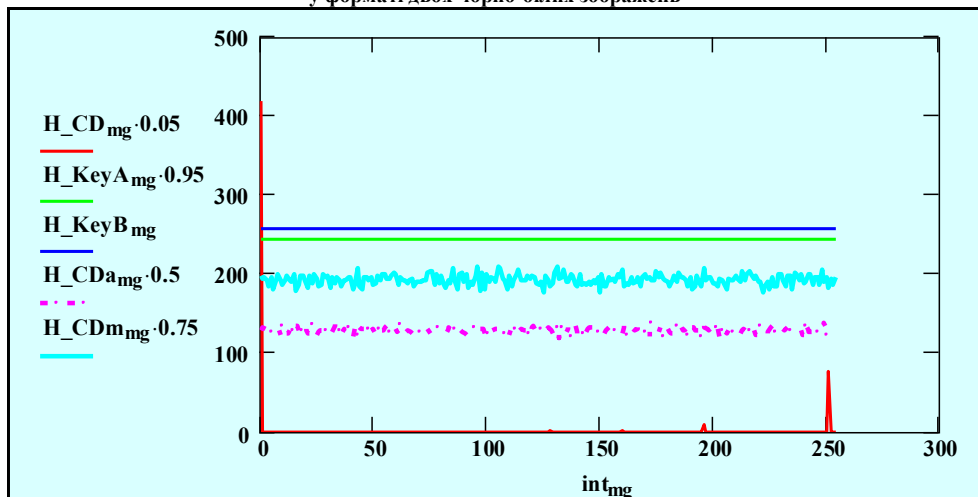


Рис. 2. Гістограми H_{KeyA} та H_{KeyB} відповідно складових KeyA та KeyB МП, гістограма H_{CD} криптограми 3 (співпадає з гістограмою явного 3), відповідні гістограми H_{CDa} та H_{CDm} криптограм після адитивної та мультиплікативної афінних КП 3 за допомогою тих же KeyA та KeyB (Вікно Mathcad)

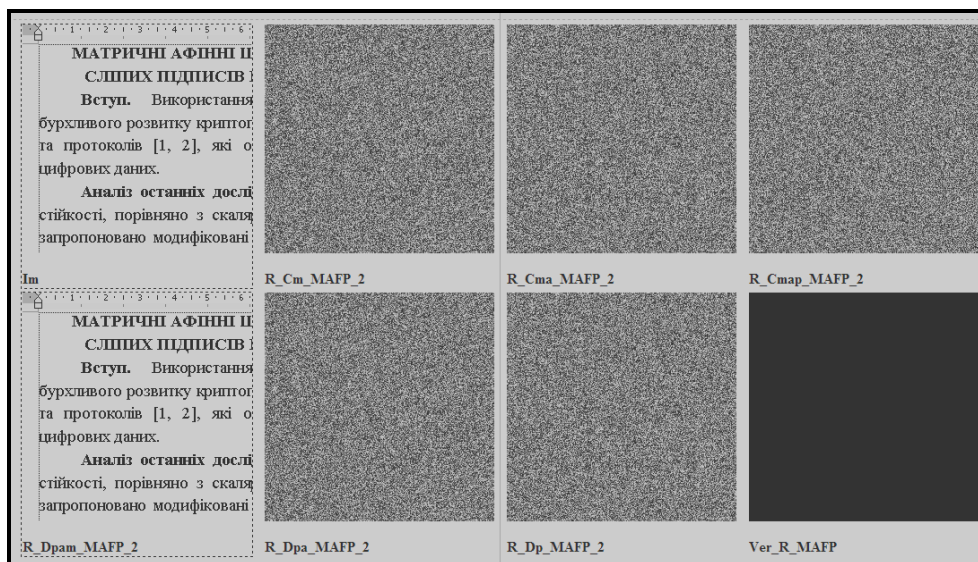


Рис. 3. Результати моделювання МАПШ на основі МП та її складових, як адитивного та мультиплікативного МК. Верхній ряд, зліва направо: явне, після перетворень, криптограма після МАПШ; Нижній ряд: відновлене, проміжні та різницева (праворуч) зображення ТГД

Результати моделювання МАПШ та багатокрокових МАПШ [2, 6], для різних випадків, коли спочатку виконуються складові афінних перетворень і у іншій послідовності та різними, чи одним МК від МП, а потім перестановка за допомогою МП, чи навпаки, також засвідчили подібні якісні КП при застосуванні пропонуваніх представлень МП. В той же час для всіх модифікацій МАМ при таких МП зі значною розмірністю, потужність множини яких оцінюється значною величиною $N! = (256 \cdot 256)!$, є надважливим питання узгодження сесійної секретної ГМП в аналогічному ізоморфному представленні, тобто дослідження модифікацій відповідного протоколу з урахуванням особливостей нашого узагальненого підходу. Як попередні [6, 29], так і наведені тут результати експериментів дозволяють, узагальнюючи наш

підхід, стверджувати, що і для синтезу ГМП зі значно більшою розмірністю останні можна також однозначно представити за допомогою 3, 4 і т.д. зображень-матриць чи блоків з байтів, аналогічних вищевказаним складовим KeyA та KeyB.

Розглянемо сутність самого протоколу узгодження ГМП сторонами. Нехай є сторони: x (Alisa) та y (Bob). Допустимо, що відома одна МП з множини допустимих у вигляді складових KeyA та KeyB, що показана на рис. 4. Крім того, завжди існує матриця зворотної перестановки (МЗП), яка для вибраного представлення має вигляд 2×3 KeyAO та KeyBO. Кожна з сторін на першому кроці підносить ізоморфно ГМП у вибрану ними свою секретну степені, яка зазвичай на практиці є досить великим випадковим (псевдовипадковим) числом порядку типових величин, що застосовуються сьогодні в криптографії для суттєвого збільшення складності обчислень при перебірних атаках на односторонні функції. Для наочності і спрощення демонстрації у першому експерименті ми вибрали ці степені для сторін, рівні 11 та 17 для прикладу !. Після цього кожна сторона пересилає нову МП іншій стороні та на другому кроці сторони, отримані ними нові МП аналогічно підносять у ті ж свої випадкові секретні степені. Тут аналогія з протоколом Діффі-Хелмана, проте протокольні дії виконуються не зі скалярами, а з ізоморфно представленими МП.

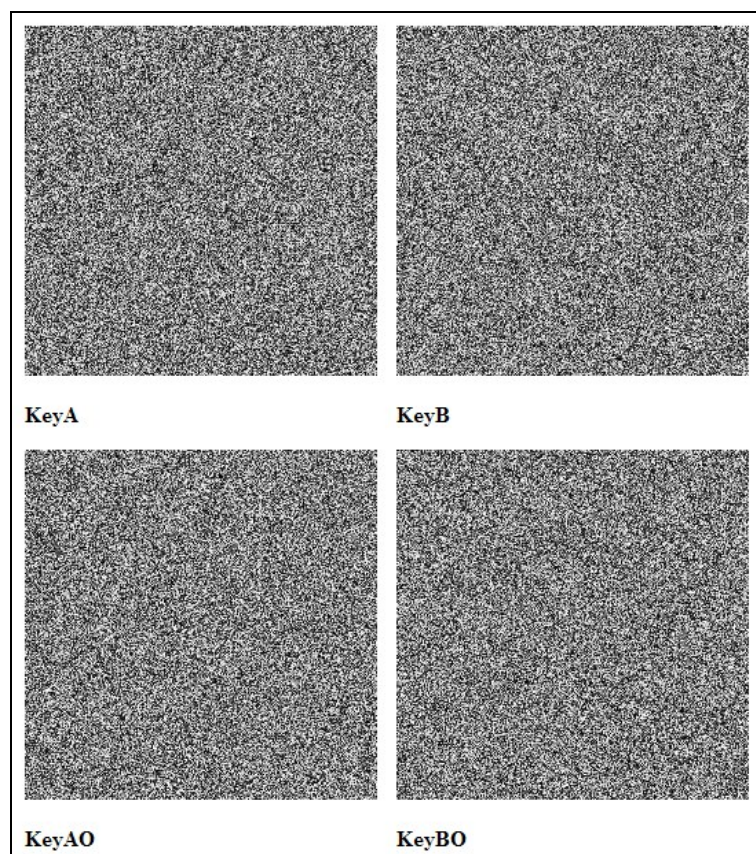


Рис. 4. Вигляд (2D) відомих генерованих МП: вгорі (пряма), внизу (зворотна) перестановки

На рис. 5-8 показані результати моделювання цих двох кроків протоколу узгодження секретного МК у Mathcad. Програмні модулі (копії з Mathcad), що відображають процедуру ітераційних перестановок в МП, ізоморфних піднесенню матриці перестановки у потрібну степені (11 !) стороною x (Alisa) та модулі (копії з Mathcad), що відображають процедуру ітераційних перестановок в МП, ізоморфних піднесенню матриці перестановки у потрібну степені (17 !) стороною y (Bob) показані на рис. 5, 6, а на рис. 7, 8 – аналогічні модулі для процедур ітераційних перестановок в отриманій від y (Bob) новій МП, ізоморфних піднесенню у потрібну степені (11 !) стороною x (Alisa) та для процедур ітераційних перестановок в отриманій від x новій МП, ізоморфних піднесенню у потрібну степені (17 !) стороною y (Bob). На рис. 9-10 показані вигляди отриманих проміжних та результативної секретної ГМП у ізоморфному представленні 3. Сторони не знають степені іншої сторони, але отримані ними МП є ідентичними, що видно з рис. 10.

Таким чином піднесення МП ($N \times N$ бінарних, де $N=2^{16}$!) еквівалентно замінюється швидкими перестановками, які до того ж можуть бути ще більш прискореними при значних степенях за рахунок використання деякого базового набору фіксованих (фіксовані степені ГМП) та специфічної їх послідовності, що дає досягнення суттєвих переваг за рахунок прискорень обчислення степенів ГМП, простоти можливих реалізацій і зменшення витрат часу.

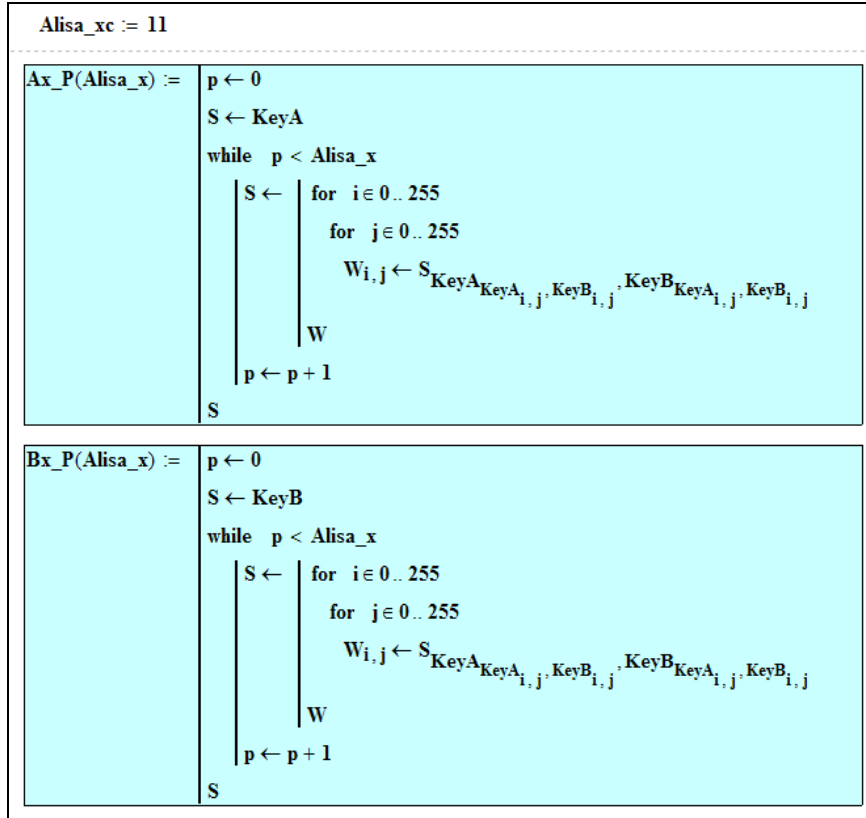


Рис. 5. Програмні модулі (копії з Mathcad), що відображають процедуру ітераційних перестановок в МП, ізоморфних піднесенню матриці перестановки у потрібну степінь (11 !) стороною x (Alisa)

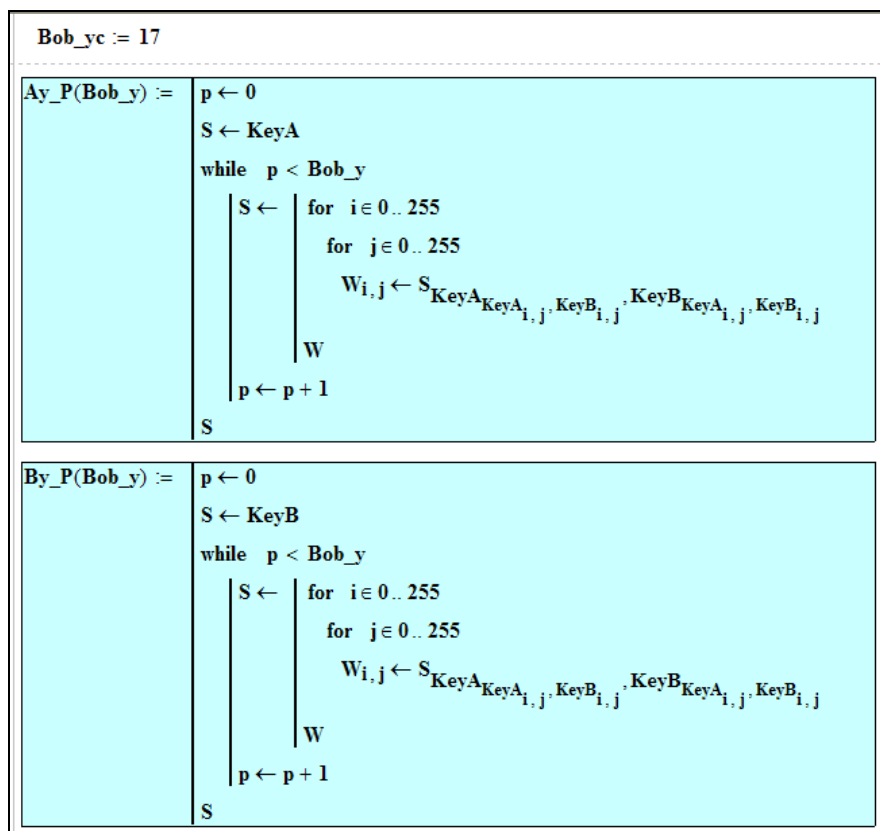


Рис. 6. Програмні модулі (копії з Mathcad), що відображають процедуру ітераційних перестановок в МП, ізоморфних піднесенню матриці перестановки у потрібну степінь (17 !) стороною y (Bob)

Axy_P(Alisa_x) :=	<p>$p \leftarrow 0$</p> <p>$S \leftarrow Ay_P(Bob_yc)$</p> <p>while $p < Alisa_x$</p> <table> <tr> <td>$S \leftarrow$</td><td> <p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p> </td></tr> </table> <p>$p \leftarrow p + 1$</p> <p>S</p>	$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>
$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>		
Bxy_P(Alisa_x) :=	<p>$p \leftarrow 0$</p> <p>$S \leftarrow By_P(Bob_yc)$</p> <p>while $p < Alisa_x$</p> <table> <tr> <td>$S \leftarrow$</td><td> <p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p> </td></tr> </table> <p>$p \leftarrow p + 1$</p> <p>S</p>	$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>
$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>		

Рис. 7. Програмні модулі (копії з Mathcad), що відображають процедуру ітераційних перестановок в отриманій від у новій МП, ізоморфних піднесенню у потрібну степінь (11 !) стороною x (Alisa)

Ayx_P(Bob_y) :=	<p>$p \leftarrow 0$</p> <p>$S \leftarrow Ax_P(Alisa_xc)$</p> <p>while $p < Bob_y$</p> <table> <tr> <td>$S \leftarrow$</td><td> <p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p> </td></tr> </table> <p>$p \leftarrow p + 1$</p> <p>S</p>	$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>
$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>		
Byx_P(Bob_y) :=	<p>$p \leftarrow 0$</p> <p>$S \leftarrow Bx_P(Alisa_xc)$</p> <p>while $p < Bob_y$</p> <table> <tr> <td>$S \leftarrow$</td><td> <p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p> </td></tr> </table> <p>$p \leftarrow p + 1$</p> <p>S</p>	$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>
$S \leftarrow$	<p>for $i \in 0..255$</p> <p>for $j \in 0..255$</p> <p>$W_{i,j} \leftarrow S_{KeyA_{KeyA_{i,j}}, KeyB_{i,j}}, KeyB_{KeyA_{i,j}, KeyB_{i,j}}$</p> <p>W</p>		

Рис. 8. Програмні модулі (копії з Mathcad), що відображають процедуру ітераційних перестановок в отриманій від x новій МП, ізоморфних піднесенню у потрібну степінь (17 !) стороною y (Bob)

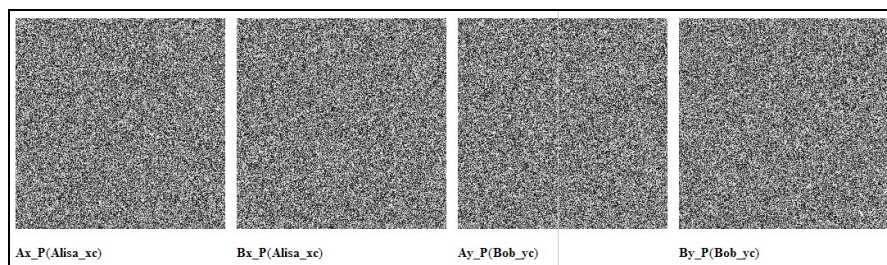


Рис. 9. Отримані сторонами нові МП (кожна у вигляді їх двох складових) після першого кроку протоколу, ті що пересилаються іншій стороні

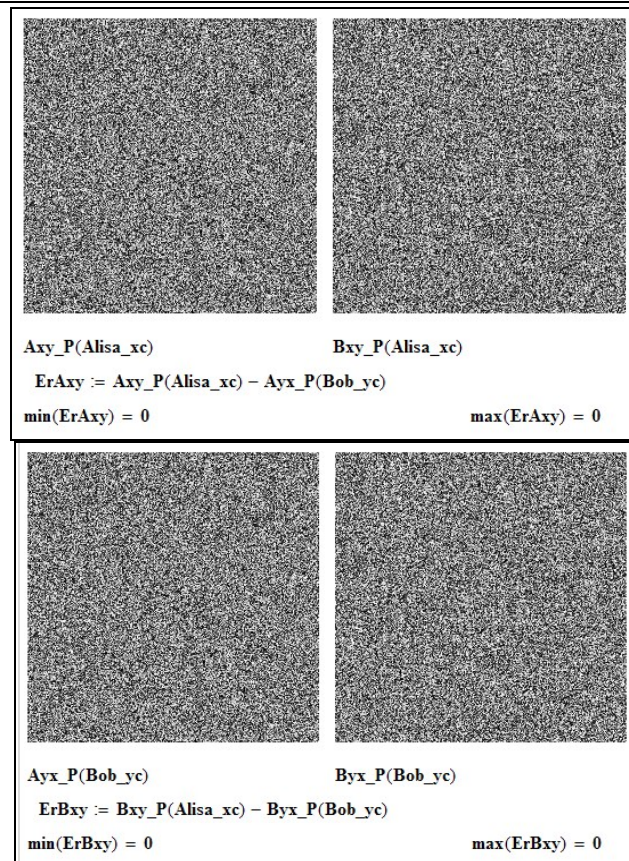


Рис. 10. Отримані сторонами ідентичні нові МП (кожна у вигляді їх двох складових) після другого кроку протоколу, тобто секретна МП

Оскільки степені, в які сторони підносять по суті ізоморфно представлені МП значних розмірностей, повинні бути досить значними для необхідної крипто-стійкості від перебірних атак, то нами виконано моделювання і для вище згаданих прискорених методів, наприклад, з наборами фіксованих МП, степені яких відповідають відповідним вагам розрядів двійкових чи інших кодових представлень вибраних випадкових чисел: *xc* (Alisa) та *yc* (Bob). Результати цих моделювань, відповідні формули, процедури, фрагменти ключів показані на рис. 11-12. Порівняння елементів матриць на рис. 12 засвідчує їх рівність.

$xA := 243$		$yA := 127$	
$xA0 := \text{mod}(xA, 2)$	$xA0m := (xA - xA0) \cdot 0.5$	$yA0 := \text{mod}(yA, 2)$	$yA0m := (yA - yA0) \cdot 0.5$
$xA1 := \text{mod}(xA0m, 2)$	$xA1m := (xA0m - xA1) \cdot 0.5$	$yA1 := \text{mod}(yA0m, 2)$	$yA1m := (yA0m - yA1) \cdot 0.5$
$xA2 := \text{mod}(xA1m, 2)$	$xA2m := (xA1m - xA2) \cdot 0.5$	$yA2 := \text{mod}(yA1m, 2)$	$yA2m := (yA1m - yA2) \cdot 0.5$
$xA3 := \text{mod}(xA2m, 2)$	$xA3m := (xA2m - xA3) \cdot 0.5$	$yA3 := \text{mod}(yA2m, 2)$	$yA3m := (yA2m - yA3) \cdot 0.5$
$xA4 := \text{mod}(xA3m, 2)$	$xA4m := (xA3m - xA4) \cdot 0.5$	$yA4 := \text{mod}(yA3m, 2)$	$yA4m := (yA3m - yA4) \cdot 0.5$
$xA5 := \text{mod}(xA4m, 2)$	$xA5m := (xA4m - xA5) \cdot 0.5$	$yA5 := \text{mod}(yA4m, 2)$	$yA5m := (yA4m - yA5) \cdot 0.5$
$xA6 := \text{mod}(xA5m, 2)$	$xA6m := (xA5m - xA6) \cdot 0.5$	$yA6 := \text{mod}(yA5m, 2)$	$yA6m := (yA5m - yA6) \cdot 0.5$
$xA7 := \text{mod}(xA6m, 2)$	$xA7m := (xA6m - xA7) \cdot 0.5$	$yA7 := \text{mod}(yA6m, 2)$	$yA7m := (yA6m - yA7) \cdot 0.5$
	$xA7 = 1$		$yA7 = 0$
$Ax_KeyAb0 := KeyA_b0 \cdot (-xA0) + KeyA_b1 \cdot xA0$	256	1	$Ax_KeyBb0 := KeyB_b0 \cdot (-xA0) + KeyB_b1 \cdot xA0$
$Ax_KeyAb1 := T_PI_P(Ax_KeyAb0, xA1, KeyA_b1, KeyB_b1)$		2	$Ax_KeyBb1 := T_PI_P(Ax_KeyBb0, xA1, KeyA_b1, KeyB_b1)$
$Ax_KeyAb2 := T_PI_P(Ax_KeyAb1, xA2, KeyA_b2, KeyB_b2)$		4	$Ax_KeyBb2 := T_PI_P(Ax_KeyBb1, xA2, KeyA_b2, KeyB_b2)$
$Ax_KeyAb3 := T_PI_P(Ax_KeyAb2, xA3, KeyA_b3, KeyB_b3)$		8	$Ax_KeyBb3 := T_PI_P(Ax_KeyBb2, xA3, KeyA_b3, KeyB_b3)$
$Ax_KeyAb4 := T_PI_P(Ax_KeyAb3, xA4, KeyA_b4, KeyB_b4)$		16	$Ax_KeyBb4 := T_PI_P(Ax_KeyBb3, xA4, KeyA_b4, KeyB_b4)$
$Ax_KeyAb5 := T_PI_P(Ax_KeyAb4, xA5, KeyA_b5, KeyB_b5)$		32	$Ax_KeyBb5 := T_PI_P(Ax_KeyBb4, xA5, KeyA_b5, KeyB_b5)$
$Ax_KeyAb6 := T_PI_P(Ax_KeyAb5, xA6, KeyA_b6, KeyB_b6)$		64	$Ax_KeyBb6 := T_PI_P(Ax_KeyBb5, xA6, KeyA_b6, KeyB_b6)$
$Ax_KeyAb7 := T_PI_P(Ax_KeyAb6, xA7, KeyA_b7, KeyB_b7)$		128	$Ax_KeyBb7 := T_PI_P(Ax_KeyBb6, xA7, KeyA_b7, KeyB_b7)$
$Ax_KeyAb8 := T_PI_P(Ax_KeyAb7, xA8, KeyA_b8, KeyB_b8)$		256	$Ax_KeyBb8 := T_PI_P(Ax_KeyBb7, xA8, KeyA_b8, KeyB_b8)$

Рис. 11. Формули і процедури (копії з вікна Mathcad), що використовувались для моделювання прискорених процесів ізоморфного формування степенів матричних перестановок сторонами

Sxd = 7										xΛ = 255												
SdP = 262																						
Ax_P(SdP) =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	0	123	61	100	126	185	238	206	19	189	99	0	123	61	100	126	185	238	206	19	189	99
	1	18	58	229	37	226	185	183	24	73	158	1	18	58	229	37	226	185	183	24	73	158
	2	96	251	50	242	38	61	67	246	88	95	2	96	251	50	242	38	61	67	246	88	95
	3	46	210	155	228	169	50	226	147	143	129	3	46	210	155	228	169	50	226	147	143	129
	4	230	202	72	177	240	78	227	60	157	202	4	230	202	72	177	240	78	227	60	157	202
	5	148	219	86	182	45	140	231	104	78	90	5	148	219	86	182	45	140	231	104	78	90
	6	42	200	151	186	154	228	247	182	138	194	6	42	200	151	186	154	228	247	182	138	194
	7	113	169	72	108	72	63	166	132	25	185	7	113	169	72	108	72	63	166	132	25	185
	8	44	205	102	212	190	248	19	73	124	92	8	44	205	102	212	190	248	19	73	124	92
	9	186	10	26	29	50	138	67	128	150	65	9	186	10	26	29	50	138	67	128	150	65
	10	134	188	7	136	60	149	26	155	138	208	10	134	188	7	136	60	149	26	155	138	208
	11	159	94	33	252	82	0	46	197	250	64	11	159	94	33	252	82	0	46	197	250	64
	12	29	99	202	180	98	56	249	34	90	224	12	29	99	202	180	98	56	249	34	90	224
	13	17	0	125	16	83	102	202	137	212	34	13	17	0	125	16	83	102	202	137	212	34
14	248	236	62	147	245	51	73	219	4	6	14	248	236	62	147	245	51	73	219	4	6	
15	188	206	167	108	243	199	230	143	225	5	15	188	206	167	108	243	199	230	143	225	5	
Bx_P(SdP) =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	0	130	208	190	17	36	35	172	98	141	194	0	130	208	190	17	36	35	172	98	141	194
	1	126	217	150	102	238	91	88	215	194	129	1	126	217	150	102	238	91	88	215	194	129
	2	172	64	195	24	174	67	179	204	89	211	2	172	64	195	24	174	67	179	204	89	211
	3	24	41	230	149	136	126	46	34	47	65	3	24	41	230	149	136	126	46	34	47	65
	4	196	100	161	59	84	215	208	190	58	199	4	196	100	161	59	84	215	208	190	58	199
	5	64	226	43	161	163	4	65	239	75	233	5	64	226	43	161	163	4	65	239	75	233
	6	32	116	252	124	14	210	105	91	9	205	6	32	116	252	124	14	210	105	91	9	205
	7	58	195	143	102	11	157	248	92	23	201	7	58	195	143	102	11	157	248	92	23	201
	8	191	181	190	18	159	160	190	75	168	148	8	191	181	190	18	159	160	190	75	168	148
	9	83	181	168	166	205	61	20	162	118	102	9	83	181	168	166	205	61	20	162	118	102
	10	206	92	186	45	27	89	9	108	85	51	10	206	92	186	45	27	89	9	108	85	51
	11	26	209	75	65	122	69	38	42	15	139	11	26	209	75	65	122	69	38	42	15	139
	12	235	212	38	48	217	167	152	225	177	28	12	235	212	38	48	217	167	152	225	177	28
	13	7	186	3	10	67	237	79	146	98	254	13	7	186	3	10	67	237	79	146	98	254
14	228	34	46	152	72	137	65	147	73	237	14	228	34	46	152	72	137	65	147	73	237	
15	84	78	166	74	248	85	116	105	230	149	15	84	78	166	74	248	85	116	105	230	149	

Рис. 12. Фрагменти, утворених після другого кроку ключів, що свідчать про адекватність прискорених алгоритмів ізоморфного формування степенів матричних перестановок сторонами

Отримані моделюванням у Mathcad результати підтверджують правильність функціонування протоколу. Як було показано на рис. 1–3, за допомогою узгодженого цим пропонованим протоколом секретного ізоморфно представленого МК, процедури утворення якого описані вище, було виконано перевірку правильного до вимог їх синтезу та адекватності моделей шляхом прямого та зворотного КПЗ, використовуючи раніше розроблені та досліджені в [6–9] функціональні параметричні моделі КПЗ зображень. Хоч початкова ГМП відома двом сторонам, протокол дозволяє без знання таємних степенів, що вибирають сторони, утворити секретний ключ, МП в аналогічному ізоморфному вигляді за час, пропорційний числу фіксованих перестановок. Крім того, аналіз стійкості з урахуванням потужності множини утворюваних цим протоколом відповідних МП значних розмірностей показав неможливість здійснення атак внаслідок величезної множини можливих МП, що оцінюється величиною (2^{16})!

Висновки

Запропоновано протокол узгодження секретного ключа у вигляді ізоморфних представлень МП значних розмірностей, виконано модельні експерименти, що підтвердили адекватність функціонування моделей та пропонованих протоколу і методів генерування МП, перевірені алгоритми прискорених піднесення у значні степені матриць перестановок зі збереженням їх ізоморфних представлень, показали їх переваги. Моделі прості, зручні, адаптуються для різноформатних та кольорових зображень, реалізуються матричними процесорами, мають високі ефективність, значну крипто-стійкість, значну швидкодію.

Література

- Красиленко В.Г. Моделювання матричних алгоритмів криптографічного захисту / В.Г. Красиленко, Ю.А. Флавицька // Вісник НУ «Львів. політехніка». – 2009. – № 658. – С. 59–63.
- Красиленко В. Г. Матричні афінно-перестановочні алгоритми для шифрування та дешифрування зображень / В. Г. Красиленко, С. К. Грабовляк // Системи обробки інформації. – 2012. – Вип. 3(2). – С. 53–61.
- Красиленко В. Г. Криптографічні перетворення зображень на основі матричних моделей перестановок з матрично-бітовозрізовою декомпозицією та їх моделювання / В. Г. Красиленко, В. М. Дубчак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 74–79.
- Красиленко В.Г. Моделювання криптографічних перетворень кольорових зображень на основі матричних моделей перестановок зі спектральною та бітово-зрізовою декомпозиціями / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2016. – № 23. – С. 31–36.
- Красиленко В.Г. Моделювання та дослідження криптографічних перетворень зображень на основі їхньої матрично-бітовозрізової декомпозиції та матричних моделей перестановок з верифікацією цілісності / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Електроніка та інформаційні технології. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – Вип. 6. – С 111–127.
- Красиленко В.Г. Моделі блокових матричних афінно-перестановочних шифрів (МАПШ) для криптографічних перетворень та їх дослідження / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // 72 НТК : матеріали конференції (13–15 грудня 2017 р.). – Одеса : ОНАЗ ім., 2017. – Ч. 1. – С.117–122.
- Красиленко, В.Г. Моделювання матричних афінних алгоритмів для шифрування кольорових зображень / В. Г. Красиленко, К.В. Огородник, Ю.А.Флавицька // Комп'ютерні технології: наука і освіта :

тези доповідей V Всеукр. НПК– К., 2010. – С. 120–124.

8. Красиленко В.Г. Багатофункціональні параметричні матрично-алгебраїчні моделі (ММ) криптографічних перетворень (КП) з операціями за модулем та їх моделювання / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // 72 НПК : матеріали конференції (13–15 грудня 2017 року). – Одеса : ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017. – Частина 1. – С. 123–128.

9. Красиленко В.Г. Моделювання сторінкових криптографічних перетворень масивів кольорових зображень на основі матричних моделей та перестановок / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2018» : збірник тез доповідей IX Міжнародної НТК, 20–21 квітня 2018 року. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2018. – С. 73–77.

10. Красиленко В.Г. Дослідження покращеного багатокрокового 2D RSA шифру та його гістограмно-ентропійних характеристик / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Інформаційна безпека та комп'ютерні технології : збірник тез доповідей III Міжнародної НПК, 19–20 квітня 2018 року. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – С. 78–82.

11. Красиленко В.Г. Матричні афінні шифри для створення цифрових сліпих підписів на текстографічних документах / В.Г. Красиленко, С.К. Грабовляк // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 7(97). – С. 60–63.

12. Красиленко В.Г. Демонстрація процесів створення сліпих електронних цифрових підписів на текстографічну документацію на основі моделей матричного типу / В.Г. Красиленко, Р.О. Яцковська, Ю.М. Тріфонова // Системи обробки інформації. – 2013. – Вип. 3(110). – Т. 2. – С. 18–22.

13. Красиленко В.Г. Вдосконалення та моделювання електронних цифрових підписів матричного типу для текстографічних документів / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ-Одеса-2017), Одеський національний морський університет, 20–22 вересня 2017 р. – Одеса : «ВидавІнформ НУ «ОМА», 2017. – С. 312–318.

14. Красиленко В.Г. Моделювання покращених сліпих електронних цифрових підписів 2D типу / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Інформаційно-комп'ютерні технології – 2018 : збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції, 20–21 квітня 2018 року. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2018. – С. 78–82.

15. Красиленко В.Г. Моделювання покращених багатокрокових 2D RSA алгоритмів для криптографічних перетворень та сліпого електронного цифрового підпису / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович, Р.О. Яцковська, В.І. Яцковський // Системи обробки інформації: збірник наукових праць, 2019. – Вип. 1 (156). – С. 92–100.

16. Vostrikov A., Sergeev M. Expansion of the Quasi-Orthogonal Basis to Mask Images // Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services. Smart Innovations, Systems and Technologies 40. Springer, 2015. P. 161–168. DOI: 10.1007/978-3-319-19830-9_15

17. Востриков А. А. О выборе матриц для процедур маскирования и демаскирования изображений / Востриков А. А., Мишура О. В., Сергеев А. М., Чернышев С. А. // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–24. – С. 5335–5339.

18. Digital masking using Mersenne matrices and its special images / A. Vostricov, M. Sergeev, N. Balonin, S. Chernyshev // Procedia Computer Science. 2017. Vol. 112. P. 1151–1159.

19. Balonin N. Construction of Transformation Basis for Video and Image Masking Procedures / N. Balonin, M. Sergeev // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2014. T. 262. P. 462–467.

20. Востриков А. А. Об оценке устойчивости к искажениям изображений, маскированных М-матрицами / Востриков А. А., Чернышев С. А. // Научно-132 технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 5. – С. 99–103.

21. Lee M. H. Jacket Matrices: Constructions and Its Applications for Fast Cooperative Wireless Signal Processing / M. H. Lee / LAP LAMBERT Publishing, Germany, 2012.

22. M.A. Dabbah, W.L. Woo, S.S. Dlay, Secure Authentication for Face Recognition, presented at Computational Intelligence in Image and Signal Processing, 2007. CIISP 2007. IEEE Symposium on, 2007.

23. Лужецкий В. Методи шифрування на основі перестановки блоків змінної довжини / В. Лужецкий, І. Горбенко // Захист інформації. – 2015. – Т. 17, № 2. – С. 169–175.

24. Білецький А.Я. Матричні аналоги протоколу Діффі-Хеллмана / А.Я. Білецький, А.А. Білецький, Р.Ю. Кандиба // Автоматика, вимірювання та керування: Вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2012. – № 741. – С. 128–133.

25. Белецкий А.Я. Модифицированный матричный асимметричный криптографический алгоритм Диффи – Хеллмана / А.Я. Белецкий, А.А. Белецкий, Д.А. Стеценко // Штучний інтелект. – 2010. – № 3. – С. 697–705.

26. Kutter M. Digital Signature Of Color Images Using Amplitude Modulation / M. Kutter, F. Jordan, F. Bossen // Proc. of the SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases. – 1997. – Vol. 3022. – P. 518–526.

27. Кветний Р.Н. Метод та алгоритм обміну ключами серед груп користувачів на основі асиметричних шифрів ECC та RSA / Р.Н. Кветний, С.О. Титарчук, А.А. Гуржій // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2016. – № 3. – С. 38–43.

28. Красиленко В.Г. Моделирование протоколов узгодження секретного матричного ключа для криптографічних перетворень та систем матричного типу / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Системи обробки інформації. – 2017. – Вип. 3 (149). – С. 151–157.

29. Красиленко В.Г. «Моделирование багатокрокових та багатоступеневих протоколів узгодження секретних матричних ключів» / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : науковий журнал. – Вип. 26. – С. 111–120.

30. Красиленко В.Г. Моделивання процесів генерування матричних ключів / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2018) : збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, 17-18 травня 2018 року. – Черкаси : ЧДТУ, 2018. – С. 32–35.

References

1. Krasylenko V.H. Modeliuvannia matrychnykh alhorytmiv kryptohrafichnoho zakhystu / V.H. Krasylenko, Yu.A. Flavyska // Visnyk NU «Lviv. politehnika». – 2009. – № 658. – С. 59–63.
2. Krasylenko V. H. Matrychni afinno-perestanovochni alhorytmy dlia shyfruvannia ta deshyfruvannia zobrazhen / V. H. Krasylenko, S. K. Hrabovliak // Systemy obrobky informatsii. – 2012. – Vyp. 3(2). – С. 53–61.
3. Krasylenko V. H. Kryptohrafichni peretvorenna zobrazhen na osnovi matrychnykh modelei perestanovok z matrychno-bitovozrizovoiu dekompozitsiieiu ta yikh modeliuvannia / V. H. Krasylenko, V. M. Dubchak // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2014. – № 1. – С. 74–79.
4. Krasylenko V.H. Modeliuvannia kryptohrafichnykh peretvoren kolorovykh zobrazhen na osnovi matrychnykh modelei perestanovok zi spektralnoi ta bitovo-zrizovoiu dekompozitsiieiu / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Kompiuterno-intehrovani tekhnologii: osvita, nauka, vyrobnytstvo. – 2016. – № 23. – С. 31–36.
5. Krasylenko V.H. Modeliuvannia ta doslidzhennia kryptohrafichnykh peretvoren zobrazhen na osnovi yikhnoi matrychno-bitovozrizovoi dekompozitsii ta matrychnykh modelei perestanovok z verryfikatsiieiu tsilisnosti / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Elektronika ta informatsiini tekhnologii. – Lviv : LNU imeni Ivana Franka, 2016. – Vyp. 6. – С. 111–127.
6. Krasylenko V.H. Modeli blokovykh matrychnykh afinno-perestanovochnykh shyfriv (MAPSh) dlia kryptohrafichnykh peretvoren ta yikh doslidzhennia / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // 72 NTK : materialy konferentsii (13–15 hrudnia 2017 r.). – Odesa : ONAZ im., 2017. – Ch. 1. – С. 117–122.
7. Krasylenko, V.H. Modeliuvannia matrychnykh afinnykh alhorytmiv dlia shyfruvannia kolorovykh zobrazhen / V. H. Krasylenko, K.V. Ohorodnyk, Yu.A. Flavyska // Kompiuterni tekhnologii: nauka i osvita : tezy dopovidei V Vseukr. NPK– K., 2010. – С. 120–124.
8. Krasylenko V.H. Bahatofunktsionalni parametrychni matrychno-algebraichni modeli (MAM) kryptohrafichnykh peretvoren (KP) z operatsiieiu za modulem ta yikh modeliuvannia / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // 72 NPK : materialy konferentsii (13–15 hrudnia 2017 roku). – Odesa : ONAZ im. O.S. Popova, 2017. – Chastyna 1. – С. 123–128.
9. Krasylenko V.H. Modeliuvannia storinkovykh kryptohrafichnykh peretvoren masyviv kolorovykh zobrazhen na osnovi matrychnykh modelei ta perestanovok / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // «Informatsiino-kompiuterni tekhnologii – 2018» : zbirnyk tez dopovidei IX Mizhnarodnoi NTK, 20-21 kvitnia 2018 roku. – Zhytomyr : Vyd. O. O. Yevenok, 2018. – С. 73–77.
10. Krasylenko V.H. Doslidzhennia pokrashchenoho bahatokrokovoho 2D RSA shyfru ta yoho histohramno-entropiinykh kharakterystyk / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Informatsiina bezpeka ta kompiuterni tekhnologii : zbirnyk tez dopovidei III Mizhnarodnoi NPK, 19-20 kvitnia 2018 roku. – Kropyvnytskyi : TsNTU, 2018. – С. 78–82.
11. Krasylenko V.H. Matrychni affinni shyfry dlia stvorennia tsyfrovykh slipykh pidpysiv na tekstohrafichni dokumenty / V.H. Krasylenko, S.K. Hrabovliak // Systemy obrobky informatsii. – 2011. – Vyp. 7(97). – С. 60–63.
12. Krasylenko V.H. Demonstratsiia protsesiv stvorennia slipykh elektronnykh tsyfrovykh pidpysiv na tekstohrafichnu dokumentatsiui na osnovi modelei matrychnoho typu / V.H. Krasylenko, R.O. Yatskovska, Yu.M. Trifonova // Systemy obrobky informatsii. – 2013. – Vyp. 3(110). – Т. 2. – С. 18–22.
13. Krasylenko V.H. Vdoskonalennia ta modeliuvannia elektronnykh tsyfrovykh pidpysiv matrychnoho typu dlia tekstohrafichnykh dokumentiv / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Materialy VI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Informatsiini upravliaiuchi systemy ta tekhnologii» (IUST-Odesa-2017), Odeskyi natsionalnyi morskyy universytet, 20–22 veresnia 2017 r. – Odesa : «VydavInform NU «OMA», 2017. – С. 312–318.
14. Krasylenko V.H. Modeliuvannia pokrashchenykh slipykh elektronnykh tsyfrovykh pidpysiv 2D typu / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Informatsiino-kompiuterni tekhnologii – 2018 : zbirnyk tez dopovidei IX Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 20-21 kvitnia 2018 roku. – Zhytomyr : Vyd. O. O. Yevenok, 2018. – С. 78–82.
15. Krasylenko V.H. Modeliuvannia pokrashchenykh bahatokrokovykh 2D RSA alhorytmiv dlia kryptohrafichnykh peretvoren ta slipoho elektronnoho tsyfrovoho pidpysu / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych, R.O. Yatskovska, V.I. Yatskovskyy // Systemy obrobky informatsii: zbirnyk naukovykh prats, 2019. – Vyp. 1 (156). – С. 92–100.
16. Vostrikov A., Sergeev M. Expansion of the Quasi-Orthogonal Basis to Mask Images // Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services. Smart Innovations, Systems and Technologies 40. Springer, 2015. P. 161–168. DOI: 10.1007/978-3-319-19830-9_15
17. Vostrikov A. A. O vybore matric dlia procedur maskirovaniya i demaskirovaniya izobrazhenij / Vostrikov A. A., Mishura O. V., Sergeev A. M., Chernyshev S. A. // Fundamental'nye issledovaniya. – 2015. – № 2–24. – С. 5335–5339.
18. Digital masking using Mersenne matrices and its special images / A. Vostricov, M. Sergeev, N. Balonin, S. Chernyshev // Procedia Computer Science. 2017. Vol. 112. P. 1151–1159.
19. Balonin N. Construction of Transformation Basis for Video and Image Masking Procedures / N. Balonin, M. Sergeev // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2014. T. 262. R. 462–467.
20. Vostrikov A. A. Ob ocenke ustojchivosti k iskazheniyam izobrazhenij, maskirovannykh M-matricami / Vostrikov A. A., Chernyshev S. A. // Nauchno-132 tekhnicheskij vestnik informacionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki. – 2013. – № 5. – С. 99–103.
21. Lee M. H. Jacket Matrices: Constructions and Its Applications for Fast Cooperative Wireless Signal Processing / M. H. Lee / LAP LAMBERT Publishing, Germany, 2012.
22. M.A. Dabbah, W.L. Woo, S.S. Dlay, Secure Authentication for Face Recognition, presented at Computational Intelligence in Image and Signal Processing, 2007. CIISP 2007. IEEE Symposium on, 2007.
23. Luzhetskyy V. Metody shyfruvannia na osnovi perestanovky blokiv zminnoi dovzhyny / V. Luzhetskyy, I. Horbenko // Zakhyst informatsii. – 2015. – Т. 17, № 2. – С. 169–175.
24. Biletskyi A.Ia. Matrychni analohy protokolu Diffi-Khellmana / A.Ia. Biletskyi, A.A. Biletskyi, R.Iu. Kandyba // Avtomatyka, vymiriuvannia ta keruvannia: Visnyk nats. un-tu «Lvivska politehnika». – 2012. – № 741. – С. 128–133.
25. Beleckij A.YA. Modificirovannyj matrychnyj asimmetrichnyj kriptograficheskij algoritm Diffi – Khehlma-na / A.YA. Beleckij, A.A. Beleckij, D.A. Stecenko // Shuchnij intelekt. – 2010. – № 3. – С. 697–705.
26. Kutter M. Digital Signature Of Color Images Using Amplitude Modulation / M. Kutter, F. Jordan, F. Bossen // Proc. of the SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases. – 1997. – Vol. 3022. – P. 518–526.

27. Kvietyi R.N. Metod ta alhorytm obminu kliuchamy sered hrup korystuvachiv na osnovi asymetrychnykh shyfriv ECCta RSA / R.N. Kvietyi, Ye.O. Tytarchuk, A.A. Hurzhii // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. – 2016. – № 3. – S. 38–43.
28. Krasylenko V.H. Modeliuvannia protokoliv uzgodzhennia sekretnoho matrychnoho kliucha dlia kryptohrafichnykh peretvoren ta system matrychnoho typu / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Systemy obrobky informatsii. – 2017. – Vyp. 3 (149). – S. 151–157.
29. Krasylenko V.H. «Modeliuvannia bahatokrokovykh ta bahatostupeneyvkh protokoliv uzgodzhennia sekretnykh matrychnykh kliuchiv» / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Komp'uterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo : naukovi zhurnal. – Vyp. 26. – S. 111–120.
30. Krasylenko V.H. Modeliuvannia protsesiv heneruvannia matrychnykh kliuchiv / V.H. Krasylenko, D.V. Nikitovych // Informatsiini tekhnolohii v osviti, nautsi i tekhnitsi (ITONT-2018) : zbirnyk tez dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 17-18 travnia 2018 roku. – Cherkasy : ChDTU, 2018. – S. 32–35.

КРАСИЛЕНКО В. Г.

ORCID ID: 0000-0001-6528-3150

krasvg@i.ua

ЮРЧУК Н. П.

ORCID ID: 0000-0002-7987-9390

НИКІТОВИЧ Д. В.

ORCID ID: 0000-0002-8907-1221

diananikitovych@gmail.com

Надійшла/Paper received : 15.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ПЛАНУВАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ БУЛЬБАШКОВОГО РОЗПОДІЛУ В РІЗНИХ ТОПОЛОГІЯХ

У цій роботі досліджено алгоритм бульбашкового планування та розподілення для різних типів топологій: решітки, гіперкубу, топології де Бруїна, розширеної топології де Бруїна на основі надлишкового коду. Проаналізовано статичні алгоритми планування, результати сформовані у вигляді порівняльної таблиці за критеріями складності, необхідності знаходження критичного шляху, наявності таблиці маршрутизації та ефективності. Дослідження способу планування обчислень проведено на основі задачі знаходження коренів систем лінійних та нелінійних рівнянь за допомогою методів Крамера та Ньютона. Для даної задачі синтезовано відповідні графи ярусно-паралельної форми. Проведено експериментальні дослідження занурення отриманих графів в синтезовані топології за допомогою способу бульбашкового розподілу, представлено результати планування для вказаних топологій.

Ключові слова: планувальник BSA, система рівнянь, топологія де Бруїна.

P.H. REHIDA, I.A. KOMISAROV

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

COMPARISON OF PLANNING RESULTS USING BUBBLE SCHEDULING AND ALLOCATION (BSA) ALGORITHM FOR DIFFERENT TOPOLOGIES

In this article, the bubble scheduling and allocation algorithm is considered for different types of topologies: grid, hypercube, de Bruijn topology, extended de Bruijn topology based on ternary code. Static planning algorithms are analyzed; the results are presented in the form of a comparative table on the criteria of complexity, the need to find a critical path, the presence of a table of routing and efficiency. The study of the method of planning calculations is carried out based on the problem of finding the roots of systems of linear and nonlinear equations using Cramer's and Newton's methods. The corresponding graphs of tier-parallel form are synthesized for these methods.

The principles of synthesis for 4 types of topologies are shown. The synthesis of the grid, hypercube, and de Bruijn graph is considered in the classical form. The synthesis of the extended de Bruijn topology is a synthesis of de Bruijn topology [1, 2] using a ternary code. That is, with the same number of processors, the number of connections increases.

Experimental studies of the scheduling of the obtained graphs in the synthesized topologies using the method of bubble scheduling and allocation are conducted; the results of scheduling are presented for these topologies.

The best results were shown by extended de Bruijn topology based on ternary code due to the increased degree of units, which is especially noticeable for Newton's method where there are much more data transfers than in Cramer's method. The topology of a hypercube and de Bruijn topology demonstrated just about same results but hypercube topology did a little better. In addition to this, having a smaller diameter and cost, the hypercube is the most optimal topology and still used today. However, when constructing fail-safe topological organizations, it is better to use topologies based on ternary code, such as the topology based on the extended de Bruijn graph.

Keywords: bubble scheduling, systems of equations, de Bruijn topology.

Постановка задачі

Проблема мінімізації часу виконання задач в комп'ютерних системах (КС) є завжди актуальною. Для вирішення цієї проблеми створено багато різних КС для виконання певних класів задач. В роботі розглянуті КС, що складаються з автономних вузлів з локальною пам'яттю, які з'єднані між собою каналами зв'язку для передачі даних. Ці зв'язки формують певну топологію комп'ютерної системи. В даній статті розглянуто наступні топології: решітка, гіперкуб, топологію де Бруїна та розширена топологія де Бруїна на основі надлишкового кодування [1, 2]. Особливістю таких КС є гарна масштабованість, що дозволяє додавати вузли без необхідності додаткової синхронізації завдяки локальній пам'яті кожного вузла [3]. Проте, при зростанні кількості вузлів та, відповідно, кількості підзадач виникає проблема планування, а саме розподілення графу задач між вузлами КС. Саме ця проблема розглядається в даній роботі.

Аналіз досліджень та публікацій

Планування задач є важливою проблемою, так як неефективне планування задач може знизити обчислювальний потенціал КС, та, можливо, взагалі змарнувати переваги розпаралелювання. Тому для кожної задачі варто підбирати відповідні алгоритми планування та топологічні організації, що дозволить підвищити ефективність КС.

Розглянемо основні статичні алгоритми планування, які відносяться до наступних класів [4]:

BNP (Bounded Number of Processors) – клас алгоритмів для систем з визначеною сталою кількістю процесорів та повною зв'язністю. В таких системах алгоритму не потрібно контролювати маршрутизацію (пересилки) між процесорами, так як вони всі зв'язані між собою. Відомі алгоритми цього класу: ETF (Earliest Time First), MCP (Modified Critical Path), ISH (Insertion Scheduling Heuristic) тощо.

UNC (Unbounded Number of Clusters) – клас алгоритмів для кластерних систем з довільною кількістю кластерів, але з повною зв'язністю між ними. Відомі алгоритми цього класу: EZ (Edge zeroing), LC (Linear Clustering), DSC (Dominant Sequence Clustering), DCP (Dynamic Critical Path), MD (Mobility Directed).

APN (Arbitrary Processor Network) – клас алгоритмів для комп'ютерних систем з довільною кількістю процесорів та довільною кількістю зв'язків між ними. Цей клас охоплює найбільшу кількість

комп'ютерних систем, тому алгоритми цього класу вважаються універсальними для різних топологій. Відомі алгоритми цього класу: BU (Bottom-Up), MH (Mapping Heuristic), DLS (Dynamic Level Scheduling), BSA (Bubble Scheduling and Allocation).

Алгоритми планування класу APN

Детальніше розглянемо алгоритми класу APN:

MH (Mapping Heuristic). Цей алгоритм спочатку обчислює пріоритет кожної вершини графу та створює список вершин відсортованих в порядку спадання. Потім для першої задачі в списку шукає найкращий можливий час початку виконання, зважаючи на залежність від батьківських задач. Ці залежності зберігаються в таблиці маршрутизації. Після розподілення, вибрана вершина позначається як виконана та видаляється зі списку.

DLS (Dynamic Level Scheduling) схожий на MH, також базується на таблиці маршрутизації, але для обробки пересилки потребує додаткового методу маршрутизації. Результати, як правило, збігаються з MH.

BU (Bottom-Up). Цей алгоритм спочатку завантажує всі задачі критичного шляху (найдовший ланцюжок обчислень) на один процесор. Потім для кожної задачі розраховується довжина шляху від останньої задачі до цільової (в тактах). Ця довжина називається b-рівень. Розраховується максимальна кількість ребер від початкової задачі до цільової (p-рівень). У порядку зменшення значення p-рівня всі задачі з однаковим p-рівнем рівномірно завантажують на процесори за зменшенням b-рівня.

BSA (Bubble Scheduling and Allocation) був запропонований Yu-Kwong Kwok та Ishfaq Ahmad в 1995 році [5]. Спочатку всі задачі послідовно завантажуються на перший процесор. Потім для кожної задачі розраховується можливий час початку її виконання для інших процесорів на основі завантаженості процесора та часу завершення останньої пересилки даних від всіх батьківських задач. Якщо знаходиться процесор для якого «новий» час буде менше ніж «старий», то задача мігрує на цей процесор. У статті [5] наведені результати планування за допомогою цього алгоритму для різних топологій, а саме кільце на 8 та 16 вузлів та гіперкуб на 8 вузлів, при цьому BSA виявився найбільш ефективним.

Таблиця 1

Порівняння алгоритмів за різними параметрами.

Алгоритм	MH	DLS	BU	BSA
Характеристика				
Складність, v – вершини, p – процесори, e – ребра	$O(v(p^3v+e))$	$O(v^3p f(p))$, $f(p)$ – складність обробки пересилки	$O(v^2\log(v))$	$O(p^2ev)$
Необхідність знаходження критичного шляху	+	-	+	-
Таблиця маршрутизації	+	+	-	-
Ефективність (згідно з [5])	2	3	4	1

Як видно з табл. 1 та результатів планування, наведених в статті [5], алгоритм BSA є найбільш привабливим з урахуванням зазначених характеристик, так як BU неефективно планує задачі, для DLS потрібно додатково реалізовувати метод обробки пересилки, а для MH потрібно розраховувати критичний шлях та використовувати таблицю маршрутизації. З наведених причин виберемо та реалізуємо BSA алгоритм для планування графа задач для комп'ютерної системи.

Синтез графів задач для експериментального порівняння планування в топологіях

Для проведення експериментів синтезуємо два графа задач для порівняння часу планування. В якості задачі пропонується використати метод Крамера для знаходження коренів системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) та ітераційний метод Ньютона для знаходження наближених коренів системи нелінійних рівнянь (СНР).

Метод Крамера рішення СЛАР

В табл. 2 представлено покрокове виконання методу Крамера для рішення системи з 4-х рівнянь [6]. Приймемо, що час виконання операцій додавання та віднімання – 1 такт, множення – 3, ділення – 4.

Таблиця 2

Обчислення методом Крамера системи з 4 рівнянь.

№	Дія	Час виконання
1	Розрахунок мінорів для обчислення детермінантів 4 порядку $m1\ I_1 = a22 \cdot a33 \cdot a34 + a42 \cdot a23 \cdot a34 + a32 \cdot a43 \cdot a21 - a42 \cdot a33 \cdot a24 - a22 \cdot a43 \cdot a34 - a32 \cdot a23 \cdot a44$	41
2	$m1\ I_2 = a21 \cdot a33 \cdot a34 + a41 \cdot a23 \cdot a34 + a31 \cdot a43 \cdot a21 - a41 \cdot a33 \cdot a24 - a21 \cdot a43 \cdot a34 - a31 \cdot a23 \cdot a44$	41

Продовження табл. 2

№	Дія	Час виконання
3	$m13_1 = a21 \cdot a32 \cdot a34 + a41 \cdot a22 \cdot a34 + a31 \cdot a42 \cdot a21 - a41 \cdot a32 \cdot a24 - a21 \cdot a42 \cdot a34 - a31 \cdot a22 \cdot a44$	41
4	$m14_1 = 21 \cdot a32 \cdot a33 + a41 \cdot a22 \cdot a33 + a31 \cdot a42 \cdot a21 - a41 \cdot a32 \cdot a23 - a21 \cdot a42 \cdot a33 - a31 \cdot a22 \cdot a43$	41
5-16	Розрахунок мінорів для інших детермінантів. Мінори $m11_1, m12_2, m13_3, m14_4$ використовуємо для основного детермінанта, тому додатково не потрібно на них виділяти задачі.	41
17-21	Розрахунок всіх детермінантів $\Delta_i = a11_i \cdot m11_i + a12_i \cdot m12_i + a13_i \cdot m13_i + a14_i \cdot m14_i, i=1..5$, де Δ_5 – основний детермінант.	15
22-25	Обчислення коренів СЛАР: $x_i = \Delta_i / \Delta$, де $i=1..4$	4

На основі описаного методу створимо відповідний граф задач (рис. 1). Граф задач представляє собою ациклічний орієнтований граф. Вершини графа – це задачі, вага кожної вершини – це час виконання відповідної задачі, вага ребер – це час на пересилання результатів від однієї задачі до іншої. Прийmemo, що час пересилання для всіх задач – 1 такт.

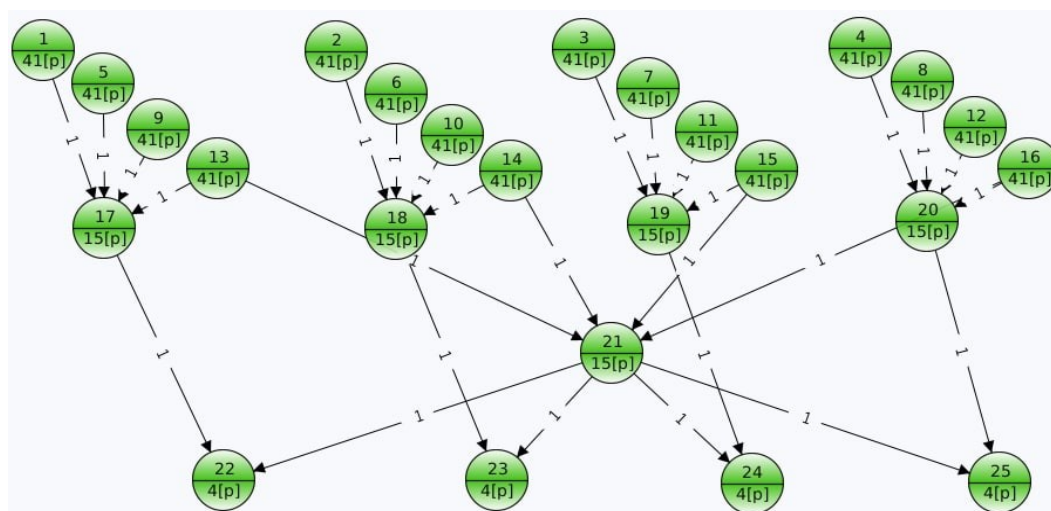


Рис. 1. Ярусно-паралельна форма алгоритму методу Крамера

Як видно з рис. 1 для завантаження даного графу в комп'ютерну систему достатньо 16 вузлів, так як ширина графу дорівнює 16. Тобто максимальна кількість задач, які можуть виконуватись незалежно дорівнює 16. Тому зі збільшенням кількості вершин зростає значимість вибору найбільш ефективної топології.

Ітераційний метод Ньютона рішення СНР

В табл.3 представлено покрокове виконання ітераційного методу Ньютона для рішення системи з 4-х рівнянь [7]. Прийmemo, що час виконання операцій додавання та віднімання – 1 такт, множення – 3, ділення – 4, знаходження похідної – 4. Отримані наближені значення коренів є результатами однієї ітерації методу Ньютона.

Таблиця 3

Обчислення методом Ньютона системи з 4 рівнянь.

№	Дія	Час виконання
1	Розрахунок часткової похідної $\frac{\partial f_i(x)}{\partial x_i}$	4
2-16	Розрахунок часткових похідних аналогічно до п.1	4
17	Розрахунок мінора $m_{11} = \begin{vmatrix} d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{42} & d_{43} & d_{44} \end{vmatrix} = d_{22}d_{33}d_{44} + d_{23}d_{34}d_{42} + d_{24}d_{32}d_{43} - d_{24}d_{33}d_{42} - d_{34}d_{43}d_{22} - d_{44}d_{23}d_{32}$	41
18-32	Розрахунок мінорів аналогічно п. 17	41

Продовження табл. 3.

№	Дія	Час виконання
33	Розрахунок детермінанта $\Delta F = d_{11}m_{11} - d_{12}m_{12} + d_{13}m_{13} - d_{14}m_{14}$	15
34	Розрахунок елемента оберненої матриці $d_{11}^{-1} = \frac{m_{11}}{\Delta F}$	4
35-49	Розрахунок елементів оберненої матриці аналогічно п. 34	4
50	Розрахунок $x_1^{(1)} = x_1^{(0)} - (d_{11}^{-1} \cdot f_1(x^{(0)}) + d_{12}^{-1} \cdot f_2(x^{(0)}) + d_{13}^{-1} \cdot f_3(x^{(0)}) + d_{14}^{-1} \cdot f_4(x^{(0)}))$	16
51-53	Розрахунок інших частин $x^{(1)}$ аналогічно п.50	16

На основі описаного алгоритму створимо відповідний граф задач (рис. 2). Як і для методу Крамера, ширина цього графу також дорівнює 16, тому для його завантаження достатньо 16 процесорів.

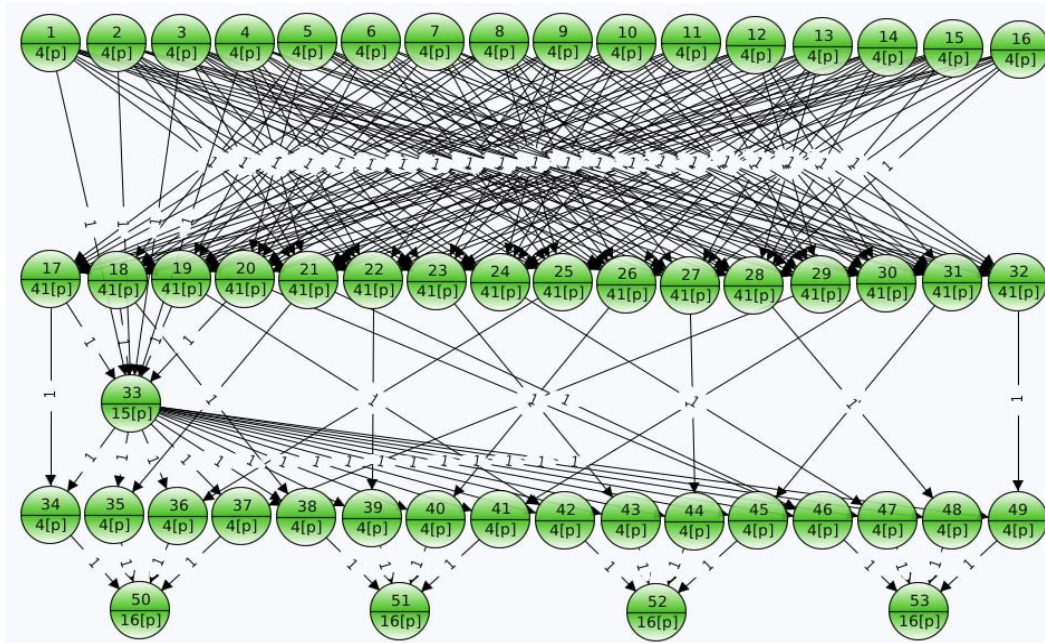


Рис. 2. Ярусно-паралельна форма алгоритму методу Ньютона

Синтезовані графи задач будуть використовуватись в якості вхідних даних при плануванні обчислень в різних топологіях комп'ютерних систем.

Синтез топологічних організацій для оцінки часу обчислень

Решітка

Синтез топології Решітка доволі простий – для кожної вершини сусідами будуть $i+1$ (окрім вершин, де $i+1 \bmod N = 0$), $i-1$ (окрім вершин, де $i \bmod N = 0$), $i+N$, $i-N$, де i – номер вершини, N – розрядність сітки (N^2). Дана топологія є простою, її діаметр дорівнює $(N-1)*2$, що відносно багато, тому частіше використовується модифікована решітка - топологія меш (mesh).

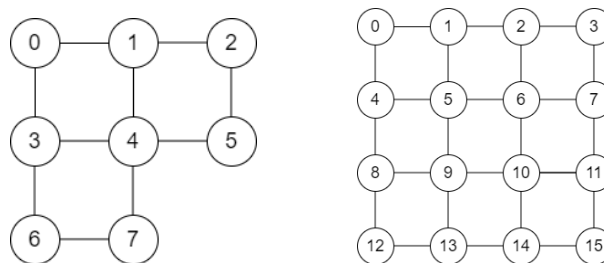


Рис. 3. Топологія Решітка для 8 та 16 процесорів

Рис.3 ілюструє топологію Решітка для $N=3$ та 4. Для $N=3$ кількість процесорів буде 9, тому видалимо останній процесор, щоб кількість процесорів для всіх топологій була рівною 8.

Гіперкуб

Для синтезу топології Гіперкуб [1] потрібно інвертувати кожен біт номера процесора (починаючи з 0) в двійковій системі, отримані числа і будуть «сусідами» процесора.

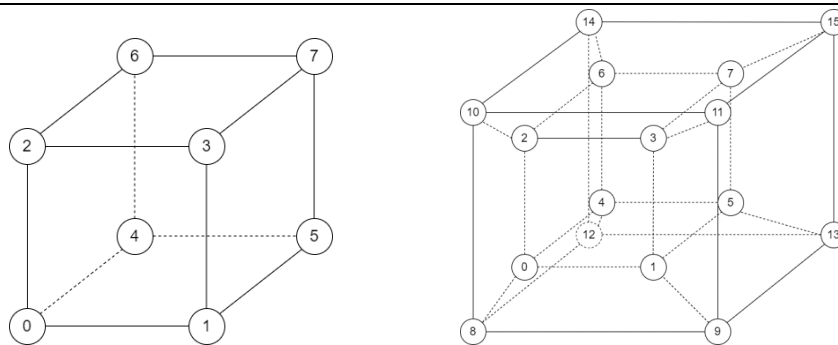


Рис. 4. Тривимірний і чотиривимірний гіперкуб

Представимо графічно топологію Гіперкуб для 8-и та 16-и процесорів (рис. 4).

Топологія де Бруїна [1]

Для топології де Бруїна, щоб отримати код сусідньої вершини потрібно виконати зсув вліво та вправо та вставити 0 і 1 у звільнений біт.

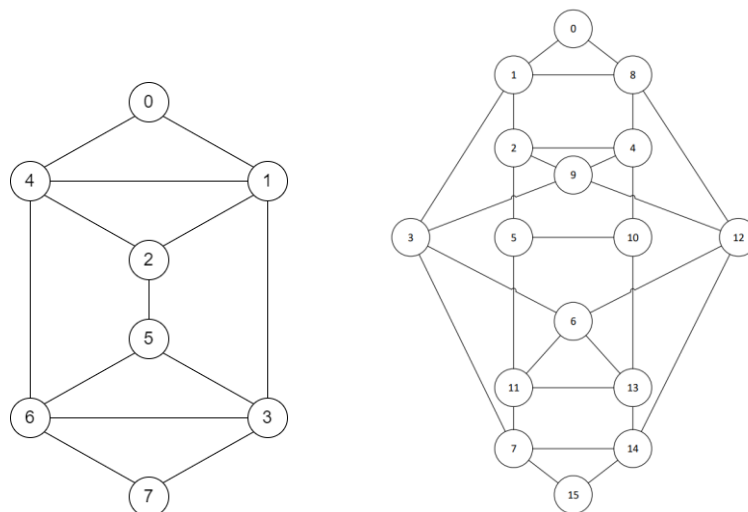


Рис. 5. Топологія де Бруїна для 8 та 16 процесорів

Представимо графічно топологію де Бруїна для 8-ми та 16-ти процесорів (рис. 5).

Розширена топологія де Бруїна

Синтез розширеної топології де Бруїна представляє собою синтез топології де Бруїна [1, 2] з використанням трійкового коду, тобто додається цифра -1 (позначається Т). При зсуві Т також вставляється у звільнений біт. Тобто при однаковій кількості процесорів кількість зв'язків збільшується. При конвертації трійкового коду в десяткову систему числення маємо, що 0Т та Т1 дорівнюють -1, а 01 і 1Т = 1, так як:

$$0T = 0 + (-1) = -1, T1 = -10 + 01 = -2 + 1 = -1$$

$$01 = 1, 1T = 10 + 0(-1) = 2 + (-1) = 1$$

Для нумерації процесорів прийемо, що 0-3 відповідають номерам від 0 до 3, а -1 – -3 відповідають номерам від 4 до 6, для 3-розрядного коду відповідно – -1 – -7 – від 8 до 14. Таблиця 4 ілюструє синтез розширеної топології де Бруїна на основі 3-розрядного надлишкового коду.

Таблиця 4

Синтез розширеної топології де Бруїна на основі 2-розрядного надлишкового коду.

Процесор			Зсув вправо			Зсув вліво		
№	Десятк. код	Трійковий код	1 >	0 >	T >	< 1	< 0	< T
0	0	00	10 (2)	00 (0)	T0 (5)	01 (1)	00 (0)	0T (4)
1	1	01	10 (2)	00 (0)	T0 (5)	11 (3)	10 (2)	1T (1)
4	-1	0T	10 (2)	00 (0)	T0 (5)	T1 (4)	T0 (5)	TT (6)
2	2	10	11 (3)	01 (1)	T1 (4)	01 (1)	00 (0)	0T (4)
3	3	11	11 (3)	01 (1)	T1 (4)	11 (3)	10 (2)	1T (1)
1	1	1T	11 (3)	01 (1)	T1 (4)	T1 (4)	T0 (5)	TT (6)
5	-2	T0	1T (1)	0T (4)	TT (6)	01 (1)	00 (0)	0T (4)
4	-1	T1	1T (1)	0T (4)	TT (6)	11 (3)	10 (2)	1T (1)
6	-3	TT	1T (1)	0T (4)	TT (6)	T1 (4)	T0 (5)	TT (6)

Так як після конвертації у нас виходить 7 процесорів, то додамо восьмий (за номером 7) з такими ж зв'язками, як для звичайної топології де Бруйна (3, 6), щоб кількість процесорів для всіх топологій була рівна 8.

На рис. 6. представимо розширену топологію де Бруйна для 8 процесорів на основі 2-розрядного надлишкового коду.

Результати експериментів

Результати планування графів задач методів Крамера та Ньютона для вказаних топологій наведені в Таблиці 5.

K_n – це коефіцієнт прискорення багатопроекторної системи перед однопроцесорною і розраховується за формулою $K_n = t_1/t_n$, де t_1 – час виконання задачі використовуючи один процесор, t_n – час виконання задачі в багатопроекторній системі.

K_e – це коефіцієнт ефективності багатопроекторної системи перед однопроцесорною і розраховується за формулою $K_e = t_1/(n*t_n)$, де t_1 – час виконання задачі використовуючи один процесор, t_n – час виконання задачі в багатопроекторній системі, n – кількість процесорів в багатопроекторній системі.

Навантаження – це характеристика, яка показує відношення часу, який витрачає процесор на «корисну» роботу (виконання задачі) до всього часу виконання задачі. Розраховується за формулою $H = t_p/t_n$, де t_p – час, який який витрачає процесор на виконання «корисної» роботи (payload), t_n – час виконання всієї задачі в багатопроекторній системі.

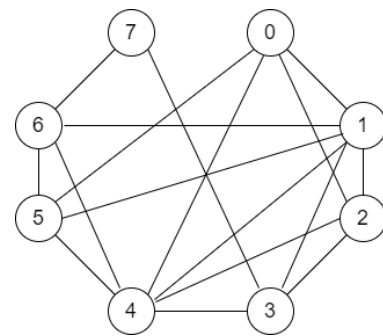


Рис. 6. Розширена топологія де Бруйна для 8 процесорів

Таблиця 5

Результати планування.

Метод	К-сть процесорів	Топологія	Час виконання	K_n	K_e	Середнє навантаження, %	Середня к-сть пересилок	Вартість системи	Durations * Cost
Крамера	8	Гіперкуб	112	6.7	0.8	82	4	24	2688
		Де Бруйна	114	6.6	0.8	80	6	32	3648
		Р-на де Бруйна	111	6.7	0.8	83	4	48	5328
		Решітка	120	6.2	0.8	76	9	32	3840
	16	Гіперкуб	74	10	0.6	62	3	64	4736
		Де Бруйна	75	10	0.6	61	4	64	4800
		Р-на де Бруйна	70	11	0.7	65	3	160	11200
		Решітка	74	10	0.6	62	4	64	4736
Ньютона	8	Гіперкуб	192	4.5	0.6	44	65	24	4608
		Де Бруйна	193	4.8	0.6	44	64	32	6176
		Р-на де Бруйна	179	4.8	0.6	51	50	48	8592
		Решітка	205	4.2	0.5	40	71	32	6560
	16	Гіперкуб	141	6.1	0.4	34	31	64	9024
		Де Бруйна	150	5.8	0.4	31	37	64	9600
		Р-на де Бруйна	129	6.8	0.4	37	30	160	20640
		Решітка	158	5.5	0.3	28	45	64	10112

Середнє навантаження розраховується за формулою $H_e = \frac{\sum_{p=0}^{n-1} \frac{t_p}{t_n}}{n}$, де t_p – час, який витрачає

процесор на виконання «корисної» роботи (payload), t_n – час виконання всієї задачі в багатопроекторній системі.

Вартість системи показує наскільки матеріально затратна в реалізації система і розраховується за формулою $C=n*S$, де S – максимальна кількість сусідів у одного процесора.

Durations * Cost – добуток часу виконання на вартість системи, показує наскільки вигідно використовувати певну топологію для досягнення відповідного часу виконання.

Представимо графічно залежність часу виконання завдання від типу топології.

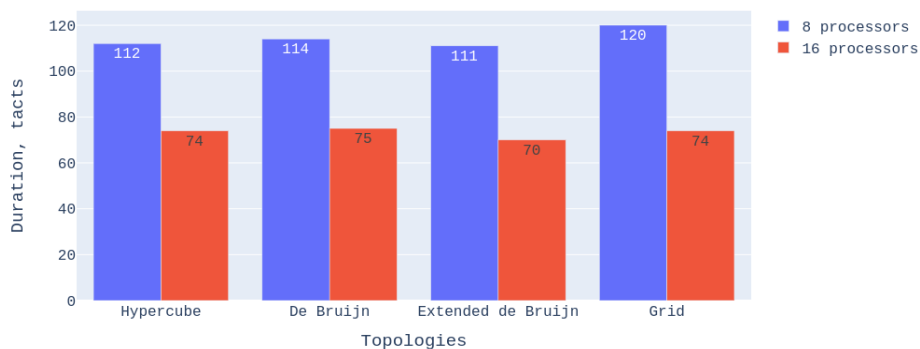


Рис. 7. Залежність часу виконання від топологій та кількості процесорів для методу Крамера

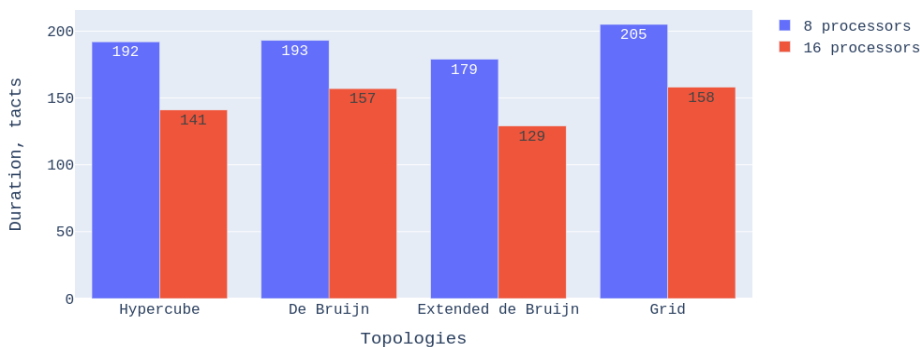


Рис. 8. Залежність часу виконання від топологій та кількості процесорів для методу Ньютона

Графічне представлення залежності добутку часу виконання на вартість системи ($\text{Durations} * \text{Cost}$) від топологій:

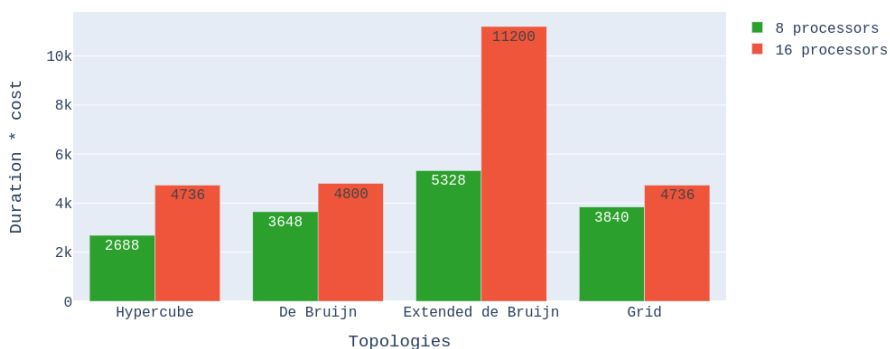


Рис. 9. Залежність добутку часу виконання на вартість системи від топологій та к-сті процесорів для методу Крамера

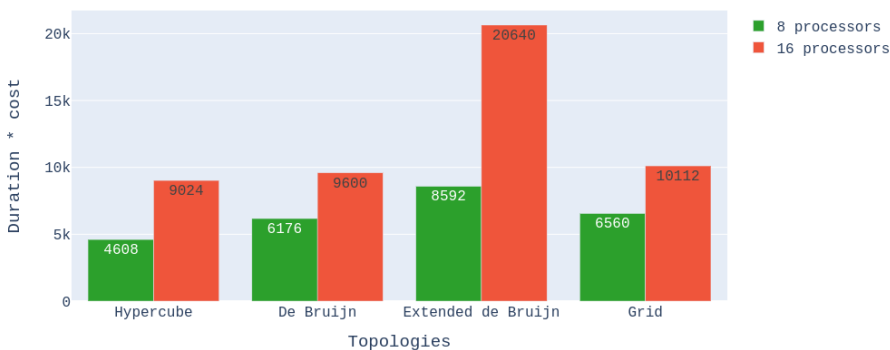


Рис. 10. Залежність добутку часу виконання на вартість системи від топологій та к-сті процесорів для методу Ньютона

Проаналізувавши результати планування можна зробити наступні висновки.

Топологія решітка показала непогані результати (на рівні з топологіями гіперкуб та де Бруйна) для методу Крамера для 16 процесорів, так як «крок» до наступного сусіда дорівнює 4, а так як для метода Крамера для задач 17-20, батьківські задачі також мають «крок» 4, то зв'язки ідеально підходять для пересилок. Для методу Ньютона результати вже не настільки «вражаючі», так як позначається великий діаметр, через який потрібно більше часу витратити на пересилки.

Топології гіперкуб та де Бруйна показують практично ідентичні результати, порівнюючи час

виконання, хоча гіперкуб показує кращий результат (рис. 7, 8). Причому добуток часу виконання на вартість системи для топології гіперкуб найменший серед всіх топологій, як для 8, так і для 16 процесорів, як видно з рисунків 9 та 10, з чого можна зробити висновок про вигоду використання даної топології.

Проте найкращі результати показала розширена топологія де Бруїна на основі надлишкового коду, це особливо помітно для методу Ньютона, де пересилки значно більше ніж в методі Крамера. Це доволі очікуваний результат, адже кількість зв'язків в цій топології найбільша, при чому зі збільшенням розрядності кількість зв'язків збільшується більше ніж для інших, це показує великий відрив у часі виконання для 16 процесорів для методу Крамера.

Висновки

В роботі розглянуто планування графів задач методів Крамера та Ньютона для різних топологій. Топологія гіперкуб є найбільш оптимальною та найбільш універсальною, а топологія на основі розширеного графу Де Бруїна, має кращі характеристики по швидкості за рахунок збільшеного ступеня вузлів. Маючи невелику вартість та діаметр, гіперкуб показує, в середньому, гарні результати (2 місце за часом виконання після розширеної топології де Бруїна), тому ця топологія часто використовується і в сьогоденні. Проте, при побудові відмовостійких топологічних організацій краще використовувати топології з резервуванням, такі як топологія на основі розширеного графу Де Бруїна.

Література

1. H. Loutsikii, A. Volokyta, P. Rehida, O. Honcharenko, B. Ivanishchev and A. Kaplunov, "Increasing the fault tolerance of distributed systems for the Hyper de Bruijn topology with excess code," 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 1–6.
2. Loutsikii, H., Volokyta, A., Rehida, P., Goncharenko, O. (2019). Using excess code to design fault-tolerant topologies. *Technical sciences and technologies*, 1 (15), 134–144.
3. Богданов А. Архитектуры и топологии многопроцессорных вычислительных систем / А. Богданов, В. Корхов, В. Мареев, Е. Станкова // Многопроцессорные компьютерные системы. – 2004. – С. 25-26.
4. Kwok Y., Ahmad I. Static Scheduling Algorithms for Allocating Directed Task Graphs to Multiprocessors. *Static scheduling algorithms*. 1998. P. 11–14, 55–65.
5. Kwok Y., Ahmad I. Bubble Scheduling: A Quasi Dynamic Algorithm for Static Allocation of Tasks to Parallel Architectures. *Computer Systems*. 1995. P. 36–42.
6. Метод Крамера [Електронний ресурс]. – 2016 – Режим доступу : http://cyclowiki.org/wiki/Метод_Крамера
7. Шохин К. Метод Ньютона для систем нелинейных уравнений [Електронний ресурс] / Шохин К., Лебедев А. – 2018. – Режим доступу : https://algowiki-project.org/ru/Метод_Ньютона_для_систем_нелинейных_уравнений

References

1. H. Loutsikii, A. Volokyta, P. Rehida, O. Honcharenko, B. Ivanishchev and A. Kaplunov, "Increasing the fault tolerance of distributed systems for the Hyper de Bruijn topology with excess code," 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 1–6.
2. Loutsikii, H., Volokyta, A., Rehida, P., Goncharenko, O. (2019). Using excess code to design fault-tolerant topologies. *Technical sciences and technologies*, 1 (15), 134–144.
3. Bogdanov A. Arhitektury i topologii mnogoprocessornykh vychislitel'nykh sistem / A. Bogdanov, V. Korkhov, V. Mareev, E. Stankova // *Mnogoprocessornye komp'yuternye sistemy*. – 2004. – S. 25-26.
4. Kwok Y., Ahmad I. Static Scheduling Algorithms for Allocating Directed Task Graphs to Multiprocessors. *Static scheduling algorithms*. 1998. P. 11–14, 55–65.
5. Kwok Y., Ahmad I. Bubble Scheduling: A Quasi Dynamic Algorithm for Static Allocation of Tasks to Parallel Architectures. *Computer Systems*. 1995. P. 36–42.
6. Metod Kramera [Elektronnij resurs]. – 2016 – Rezhim dostupu : http://cyclowiki.org/wiki/Metod_Kramera
7. Shokhin K. Metod N'yutona dlya sistem nelinejnykh uravnenij [Elektronnij resurs] / Shokhin K., Lebedev A. – 2018. – Rezhim dostupu : https://algowiki-project.org/ru/Metod_N'yutona_dlya_sistem_nelinejnykh_uravnenij

Надійшла/Paper received : 06.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

СПОСОБИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ

У даній статті розглянуто основні шляхи використання нейронних мереж та методів машинного навчання різних типів у комп'ютерних відеоіграх. Машинне навчання та нейромережі – гарячі теми в багатьох технологічних галузях. Одна з них – створення комп'ютерних ігор, де нові інструменти використовуються для того, щоб зробити ігри цікавіше. Ремастерінг і модифікації ігор нейронними мережами стали новим трендом. Проводяться дослідження з корекції кольору та світла, анімації персонажів у реальному часі та керування їхньою поведінкою. Розглянуто основні типи нейронних мереж, які можуть навчатися таким функціям.

Ключові слова: нейронна мережа, машинне навчання, анімація, генерація рівня, керування діями.

K.R. SENIVA

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

WAYS TO USE NEURAL NETWORKS AND MACHINE LEARNING IN COMPUTER GAMES

This article discusses the main ways of using neural networks and machine learning methods of various types in computer games. Machine learning and neural networks are hot topics in many technology fields. One of them is the creation of computer games, where new tools are used to make games more interesting. Remastered and modified games with neural networks have become a new trend.

One of the most popular ways to implement artificial intelligence is neural networks. They are used in everything from medicine to the entertainment industry. But one of the most promising areas for their development is games. The game world is an ideal platform for testing artificial intelligence without the danger of harming nature or people.

Making bots more complex is just a small part of what neural networks can do. They are also actively used in game development, and in some areas they already make people feel uncomfortable.

Research is ongoing on color and light correction, real-time character animation and behavior control. The main types of neural networks that can learn such functions are considered.

Neural networks learn (and self-learn) very quickly. The more primitive the task, the faster the person will become unnecessary. This is already noticeable in the gaming industry, but will soon spread to other areas of life, because games are just a convenient platform for experimenting with artificial intelligence before its implementation in real life.

The main problem faced by scientists is that it is difficult for neural networks to copy the mechanics of the game. There are some achievements in this direction, but research continues. Therefore, in the future, real specialists will be required for the development of games for a long time, although AI is already coping with some tasks.

Keywords: neural network, machine learning, animation, level generation, action control.

Постановка проблеми

У даний час захоплення комп'ютерними іграми привернуло увагу людей різного віку, статті та професій. У реальності зрозуміти, хто досвідчений геймер, а хто ні, майже неможливо. Можна виокремити декілька причин такої популярності комп'ютерних ігор:

- Самореалізація – розвиток ігрового персонажа і досягнення ним певних цілей, є чудовою нагодою для реалізації, особливо амбітним людям. За допомогою гри людина може стати «найкращою», це навіть не залежить від того, ким є цей гравець в реальному житті. Занурюючись в захоплюючі ігри, людина забуває про все повсякденне і знаходиться у світі, де в нього все легко виходить.

- Свобода – нерідко, саме свобода є основним фактором, який привертає велику кількість людей. У свою чергу, віртуальний світ не обмежує людину практично ні в чому. Гравець може самовільно вибирати ту стратегію поведінки, яка навряд чи може бути реалізована в реальному житті. Крім того, у грі людина може перетворитися в будь-якого персонажа, часто взагалі на нього не схожого.

- Спілкування – у багатьох іграх є чати, які сприяють спілкуванню між гравцями. Тільки це спілкування практично нічим не обмежене, воно «без цензури». Тому користувачі можуть відкинути багато обмежень, наприклад, соціальний статус, і говорити про що завгодно. Позитивними сторонами такого спілкування можна назвати отримання ексклюзивної і нової інформації. Взагалі, будь-який гравець, який цікавиться своєю справою, отримує масу цікавої інформації, нових знань й умінь.

- Велика кількість вільного часу – коли у людини з'являється багато вільного часу, то вона хоче чимось його зайняти, тому нерідко на допомогу приходять саме комп'ютерні ігри. У будь-якому випадку, захоплення комп'ютерними іграми не повинні переходити за рамки здорового глузду. Тоді цей процес буде не тільки приємним, але і корисним.

Гравцям щороку хочеться чогось нового в комп'ютерних іграх, тому ігри стають більш захопливими, цікавими, вражаючими, для цього розробники постійно шукають нові або удосконалюють існуючі технології створення комп'ютерних ігор.

Створення комп'ютерних ігор потребує багато ресурсів таких як матеріальні, нематеріальні та людські, тому компанії по розробці ігор шукають шляхи економії. На допомогу їм можуть прийти нейронні мережі та методи машинного навчання. Останнім часом проводиться багато досліджень, які підтверджують, що машинне навчання може кардинально змінити ігрову індустрію, адже ця технологія вже стала проривною в багатьох інших цифрових додатках.

Аналіз останніх досліджень

Останнім часом багато досліджень проводить компанія «DeepMind Technologies Limited», вони створили нейронну мережу, яка здатна навчитись грати у відеоігри подібно людині. Метою DeepMind Technologies є «вирішити проблему інтелекту», чого вони намагаються досягнути шляхом поєднання «найкращих технік машинного навчання та системної психофізіології, аби збудувати могутні навчальні алгоритми загального призначення». Вони прагнуть формалізувати інтелект не лише задля втілення його у машини, але й щоб зрозуміти людський мозок [1].

В кінці червня 2019 року дослідники з підрозділу Microsoft Research Asia опублікували препринт наукової статті «Глибока колоризація відео, заснована на прикладах» [2]. У ній детально розбирається комплексна система для напівавтоматичного колоризації відео на основі рекурентної нейромережі (RNN) і верифікованих прикладів (вручну відібраних кольорових кадрів з подібними об'єктами).

А дослідники з Единбурзького університету розробили нову систему навчання, яка називається фазово-функціональною нейронною мережею (PFNN), яка використовує машинне навчання для анімації персонажів у відеоіграх та інших додатках.

Формулювання цілей

Для того, щоб більше зацікавити гравців та при цьому зменшити витрати на розробку можна використовувати нейронні мережі та методи машинного навчання в наступних цілях:

- генерація ігрових рівнів/сцен;
- генерація рухів персонажа комп'ютерної гри в реальному часі;
- корекція кольору в ігрових сценах;
- розстановка джерел світла;
- керування діями неігрового персонажа.

Виклад основного матеріалу

Нейронна мережа – це математична модель та її програмне або апаратне втілення, побудована за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж – мереж нервових клітин живого організму. Це мережа простих елементів – нейронів, які отримують вхід, змінюють свій внутрішній стан відповідно до цього входу і формують вихід. Можливість навчання – це одне із головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами [3].

Машинне навчання – це клас методів штучного інтелекту, характерною ознакою якого є не прямий розв'язок задачі, а навчання в процесі застосування рішень множини подібних задач. Для побудови таких методів використовуються засоби математичної статистики, чисельних методів, математичного аналізу, методів оптимізації, теорії ймовірностей, теорії графів, різні техніки роботи з даними в цифровій формі [4].

Для генерації рівнів або сцен комп'ютерної гри можна використати згорткові нейронні мережі (CNN), тому що в порівнянні з іншими нейронними мережами вони краще підходять для класифікації зображень. Згорткова нейронна мережа має спеціальну архітектуру, яка дозволяє їй максимально ефективно розпізнавати образи. Сама ідея такої мережі ґрунтується на чергуванні згорткових і субдискретизуючих шарів (pooling), а структура є односпрямованою. Згорткова нейронна мережа отримала свою назву від операції згортки, яка передбачає, що кожен фрагмент зображення буде помножений на ядро згортки поелементно, при цьому отриманий результат повинен додаватися і записуватися в схожу позицію вихідного зображення. Така архітектура забезпечує інваріантність розпізнавання щодо зсуву об'єкта, поступово збільшуючи «вікно», на яке «дивиться» згортка, виявляючи все більш великі структури і патерни в зображенні.

Для того, щоб використати такий тип мережі для генерації рівня потрібно спочатку створити набори даних для навчання у вигляді пари: скріншот рівня у редакторі – складність. Вхідний шар враховує двовимірну топологію зображень і складається з декількох карт (матриць), карта може бути одна, в тому випадку, якщо зображення представлено в відтінках сірого, інакше їх 3, де кожна карта відповідає зображенню з конкретним каналом (червоним, синім і зеленим). Вхідні дані кожного конкретного значення

пікселя нормалізуються в діапазон від 0 до 1, за формулою:
$$f(p, min, max) = \frac{p - min}{max - min}$$
, де f – функція нормалізації, p – значення конкретного кольору пікселя від 0 до 255, min – мінімальне значення пікселя – 0, max – максимальне значення пікселя – 255.

Згортковий шар являє собою набір карт (інша назва – карти ознак або звичайні матриці), у кожній карті є синаптичне ядро (в різних джерелах його називають по-різному: скануюче ядро або фільтр). Кількість карт визначається вимогами до задачі, якщо взяти велику кількість карт, то підвищиться якість розпізнавання/генерації, але збільшиться обчислювальна складність. Виходячи з аналізу наукових статей, в більшості випадків пропонується брати співвідношення один до двох, тобто кожна карта попереднього шару пов'язана з двома картами згорткового шару, у першого згорткового шару, попереднім є вхідний.

Ядро являє собою фільтр або вікно, яке проходить по всій області попередньої карти і знаходить певні ознаки об'єктів. Розмір ядра зазвичай беруть в межах від 3×3 до 7×7. Якщо розмір ядра маленький, то воно не зможе виділити будь-які ознаки, якщо занадто велике, то збільшується кількість зв'язків між нейронами. Також розмір ядра вибирається таким, щоб розмір карт згорткового шару був парним. Ядро являє собою систему поділованих ваг або синапсів, це одна з головних особливостей згорткової

нейромережі. У звичайній багатoshаровій мережі дуже багато зв'язків між нейронами, тобто синапсів, що дуже уповільнює процес детектування. У згортковій мережі навпаки, число зв'язків дозволяє скоротити загальні ваги і дозволить знаходити одну і ту саму ознаку по всій області зображення.

Нейромережа зможе навчитися особливостям будь-якого рівня. На підставі того, чого вона навчилася на попередніх етапах, можна переходити до наступного кроку: генерування рівнів. У області генерування зображень, голосу і тексту проводяться активні дослідження. Оскільки в якості вхідних даних описаної вище моделі використовувалися знімки зображення, можна використати GAN (Generative Adversarial Networks, генеративно-змагальна мережа), які широко використовуються в багатьох випадках і демонструють хороші результати.

Генеративно-змагальна нейронна мережа – архітектура, що складається з генератора і дискримінатора, налаштованих на роботу один проти одного. Звідси GAN і отримала назву генеративно-змагальна. Одна нейронна мережа, яка називається генератором, генерує нові екземпляри даних, а інша – дискримінатор, оцінює їх на справжність, тобто дискримінатор вирішує, чи належить кожен екземпляр даних, який він розглядає, до набору тренувальних даних чи ні. У випадку з генерацією рівнів, генератор створює зображення рівня в залежності від складності, а дискримінатор знаходить недоліки згенерованого рівня, таким чином ці дві мережі вдосконалюються постійно змагаючись одна з одною, а на виході ми будемо мати якісно згенерований рівень комп'ютерної гри.

Аналогічно GAN можна використовувати для розстановки джерел світла і їх більш правдоподібною «роботи»: відбувається не лише виставлення в окремих ділянках ліхтарів, ламп тощо, а й коректується площа розповсюдження світла (від різних джерел різна інтенсивність), напрямок променів, що робить ігрове середовище більш реалістичним, дивуючим та захоплюючим.

У комп'ютерних іграх досить часто використовуються ландшафти і персонажі, згенеровані програмним чином, однак, створення ж правдоподібною мультиплікації подібним чином рідко призводить до отримання прийнятних результатів. Саме тому розробники комп'ютерних ігор в своїй роботі використовують цілі бібліотеки типових рухів, за допомогою яких і «оживають» ігрові персонажі. Але новий підхід, розроблений дослідниками із Единбурзького університету, дозволяє відмовитися від використання бібліотек, а анімовані завдяки такому підходу, мультиплікаційні персонажі відрізняються високим рівнем реалістичності, їх рухи важко відрізнити від природних рухів тіла людини. Ця система отримала назву фазово-функціональна нейронна мережа (PFNN).

На рисунку 1 коричневим кольором показано показана циклічна функція фази – функція, яка генерує ваги регресійної мережі, яка виконує контрольну задачу. Незважаючи на свою компактну структуру, мережа може вчитися на великому масиві даних великого обсягу завдяки фазовій функції, яка плавно змінюється з плином часу для створення великої різноманітності конфігурації мережі.

Система PFNN проходить через три послідовні етапи: стадію попередньої обробки, стадію навчання і стадію виконання. На етапі попередньої обробки дані для підготовки нейромережі налаштовуються таким чином, щоб з них можна було автоматично витягти параметри управління, які пізніше надасть користувач. Цей процес включає в себе установку даних рельєфу для захоплених даних руху з використанням окремої бази даних карт висот.

На етапі навчання PFNN вчиться використовувати ці дані, щоб створювати рух персонажа в кожному кадрі з урахуванням параметра управління. На етапі виконання вхідні параметри в нейромережі збираються з введення користувача і з середовища, а потім вводяться в систему для визначення руху персонажа.

Такий механізм управління ідеально підходить для роботи з персонажами в інтерактивних сценах у відеоіграх і системах віртуальної реальності. Дослідники заявили, що якщо навчати мережу з нециклічною фазовою функцією, PFNN можна легко використовувати для вирішення інших завдань, на зразок моделювання ударів руками і ногами [5].

Багатьом би хотілося переглянути старий улюблений фільм або заново пройти комп'ютерну гру, яка вразила в дитинстві, але виникає проблема в тому, що на сучасних екранах шедеври минулого виглядають вкрай посередньо. Заповнити цю прогалину може процедура ремастерінга – перевидання класики в більш високій якості. Тут може стати у нагоді рекурентна нейронна мережа.

Ідея RNN полягає в послідовному використанні інформації. У традиційних нейронних мережах мається на увазі, що всі входи і виходи незалежні. Але для багатьох завдань це не підходить. RNN називаються рекурентними, тому що вони виконують одну й ту саму задачу для кожного елемента послідовності, причому вихід залежить від попередніх обчислень. Ще одна інтерпретація RNN – це мережі, у яких є «пам'ять», яка враховує попередню інформацію. Теоретично RNN можуть використовувати інформацію в довільно довгих послідовностях, але на практиці вони обмежені лише кількома кроками. Для того, щоб використовувати таку мережу для корекції кольору, спочатку потрібно навчити її: надати різні відео, в яких буде приклад того, як має виглядати навколишній світ, які кольори для чого використовуються.

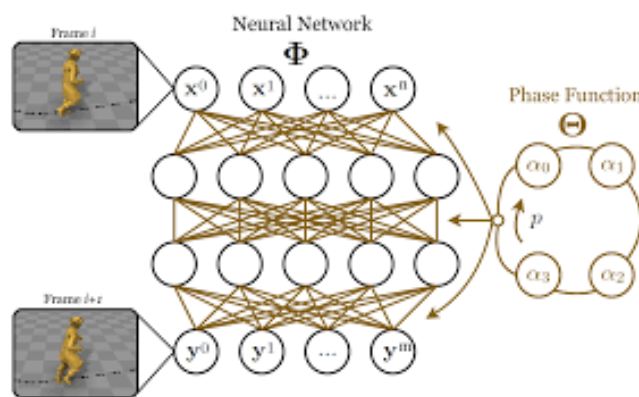


Рис. 1. Візуальна схема PFNN.

Також для задачі корекції рекурентна нейронна мережа може використовувати разом із згортковою неймережею [6].

Нейронні мережі також можуть знадобитись для керування діями неігрових персонажів: суперників, ботів та помічників, компаньйонів, їх ще називають агентами. Про успіхи Google Deepmind зараз говорять та знають. Алгоритми DQN (Deep Q-Network) перемагають людину з непоганим відривом все у більшу кількість ігор. Досягнення останніх років вражають: буквально за десятки хвилин навчання алгоритми вчать і виграють людину в «Pong» (відеогра для аркадних ігрових автоматів) й інші ігри Atari (компанія з виробництва та видання відеоігор). Нещодавно агенти вийшли в третій вимір – перемагають людей в «DOOM» в реальному часі, а також вчать керувати машинами та гелікоптерами.

Q-навчання – метод, що застосовується в штучному інтелекті при агентному підході. Відноситься до експериментів виду навчання з підкріпленням. На основі одержуваної від середовища винагороди агент формує функцію корисності Q, що згодом дає йому можливість уже не випадково вибирати стратегію поведінки, а враховувати досвід попереднього взаємодії з середовищем. Одна з переваг Q-навчання – воно в змозі порівняти очікувану корисність доступних дій, не формуючи модель навколишнього середовища [7].

Висновки

У роботі розглянуто способи використання нейронних мереж та методів машинного навчання різних типів у комп'ютерних відеоіграх. За останні кілька років прогрес в області штучного інтелекту привів до створення методів машинного навчання на основі навчання уявленням з декількома шарами абстракції, так званому «глибокому навчанню». Громадську та медійну увагу було привернуто до цієї галузі досліджень завдяки старокитайській настільній грі «Go», коли штучний інтелект переміг людину. Галузь актуальна та потребує подальших досліджень, оскільки може принести користь не лише у сфері комп'ютерних ігор, а й у інших.

Література

1. A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play / David Silver, Thomas Hubert, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Matthew Lai, Arthur Guez, Marc Lanctot, Laurent Sifre, Timothy Lillicrap, Karen Simonyan, Demis Hassabis. – Science. – Vol. 362. – № 6419. – URL: <https://science.sciencemag.org/content/362/6419/1140.full?ikey=XGd77kI6W4rSc&keytype=ref&siteid=sci>
2. Deep Exemplar-Based Video Colorization / Bo Zhang, Mingming He, Jing Liao, Pedro V. Sander, Lu Yuan, Amine Bermak, Dong Chen. – Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2019. – P. 8052–8061. – URL: https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2019/html/Zhang_Deep_Exemplar-Based_Video_Colorization_CVPR_2019_paper.html
3. Штучна нейронна мережа [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа
4. Машинне навчання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Машинне_навчання
5. Phase-Functioned Neural Networks for Character Control / Daniel Holden, Taku Komura, Jun Saito. – ACM Transactions on Graphics. – Vol. 36. – № 4. – URL: <http://theorangeduck.com/page/phase-functioned-neural-networks-character-control>
6. Ремастеринг с ИИ. Как нейросети возрождают классику [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dx.media/articles/how-it-works/remastering-s-ii-kak-neyroseti-vozrozhdayut-klassiku/>
7. Q-обучение [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Q-обучение>

References

1. A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play / David Silver, Thomas Hubert, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Matthew Lai, Arthur Guez, Marc Lanctot, Laurent Sifre, Timothy Lillicrap, Karen Simonyan, Demis Hassabis. – Science. – Vol. 362. – № 6419. – URL: <https://science.sciencemag.org/content/362/6419/1140.full?ikey=XGd77kI6W4rSc&keytype=ref&siteid=sci>
2. Deep Exemplar-Based Video Colorization / Bo Zhang, Mingming He, Jing Liao, Pedro V. Sander, Lu Yuan, Amine Bermak, Dong Chen. – Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2019. – P. 8052–8061. – URL: https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2019/html/Zhang_Deep_Exemplar-Based_Video_Colorization_CVPR_2019_paper.html
3. Shtuchna neironna merezha [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://uk.wikipedia.org/wiki/Shtuchna_neironna_merezha
4. Mashynne navchannia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://uk.wikipedia.org/wiki/Mashynne_navchannia
5. Phase-Functioned Neural Networks for Character Control / Daniel Holden, Taku Komura, Jun Saito. – ACM Transactions on Graphics. – Vol. 36. – № 4. – URL: <http://theorangeduck.com/page/phase-functioned-neural-networks-character-control>
6. Remasterynh s YY. Kak neirosety vozrozhdayut klassyku [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://dx.media/articles/how-it-works/remastering-s-ii-kak-neyroseti-vozrozhdayut-klassiku/>
7. Q-obuchenye [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Q-obuchenye>

Надійшла/Paper received : 26.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИБОРУ МАЙБУТНЬОЇ ПРОФЕСІЇ

Пошук професійної сфери, в якій людина збирається розвиватися все своє життя, непростий, тим більше, коли у людини немає інструментів, щоб зробити точний та обґрунтований вибір. Коли ми говоримо про професійну орієнтацію, ми маємо на увазі психолого-педагогічний процес, який має на меті допомогти у виборі професії, яка відповідає навичкам та настроям людини. З іншого боку, орієнтація не тільки має намір шукати роботу, але й знати, що спонукає людину або ким би вона хотіла себе бачити за кілька років. Професійне розрізнення – це процес, який породжує суперечності у молодих людей, які часто не відразу здобувають вищу освіту або вирішують змінити кар'єру через відсутність професійної орієнтації. Людей вражає невизначеність щодо того, як правильно слід вибирати майбутню професію: відповідно до інтересів, відповідно до можливості працевлаштування, або відповідно до корисності цієї кар'єри. Також важливим фактором є майбутня зарплата, яку ми будемо заробляти. Наше покликання та наші здібності також є чинниками, які слід враховувати, оскільки в підсумку саме вони будуть мотивувати нас продовжувати навчання. Щоб прийняти найкраще рішення щодо вибору майбутньої кар'єри, професійний тест буде найкориснішим інструментом, за допомогою якого людина зможе визначити свої можливості.

Оскільки для аналізу даних у світі з кожним днем все частіше почали використовувати сучасні технології, перевести тестування із загальної когорти психологічних методик у цифровий світ є очікуваним завданням. Для досягнення кращих результатів, розв'язання цього завдання було вирішено реалізувати за допомогою штучної нейронної мережі. Вчені, які досліджували та продовжують вивчати нейронні мережі, вважають, що вони є майже незамінним інструментом у роботі аналітиків, тому що дозволяють працювати і з якісними, і з кількісними характеристиками. Головною функцією розроблюваної системи є консультування студентів та абітурієнтів з приводу вибору майбутньої професії, а також подання інформації у формі, зручній для аналізу результатів профорієнтаційної роботи.

Ключові слова: професійна орієнтація, тестування для вибору професії, штучна нейронна мережа.

YU.P. KRYVENCHUK, O.I. HRYTSYK
Lviv Polytechnic National University

INTELLIGENT SYSTEM FOR CHOOSING A FUTURE PROFESSION

Finding a professional field in which a person is going to develop all his life is not easy, especially when a person does not have the tools to make accurate and informed choices. When we talk about professional orientation, we mean the psychological and pedagogical process, which aims to help choose a profession that corresponds to the skills and moods of man. On the other hand, orientation not only intends to look for a job, but also to know what motivates a person or who he would like to see himself in a few years. Professional discrimination is a process that creates controversy among young people, who often do not immediately get a higher education or decide to change careers due to lack of professional orientation. People are struck by the uncertainty about how to choose the right future profession: according to interests, according to employment opportunities, or according to the usefulness of this career. Another important factor is the future salary we will earn. Our vocation and our abilities are also factors to consider, as they will ultimately motivate us to continue our studies. To make the best decision about choosing a future career, a professional test will be the most useful tool with which a person can determine their capabilities.

As modern technologies are increasingly used to analyze data around the world, it is an expected task to translate testing from a general cohort of psychological techniques into the digital world. For best results, it was decided to solve this problem using an artificial neural network. Scientists who have studied and continue to study neural networks believe that they are an almost indispensable tool in the work of analysts, because they allow you to work with both qualitative and quantitative characteristics. The main function of the developed system is to advise students and entrants on the choice of future profession, as well as to provide information in a form convenient for analyzing the results of career guidance work.

Key words: professional orientation, testing for choosing a profession, artificial neural network.

Постановка проблеми

Вибрати кар'єру, яка ідеально відповідає вашим навичкам, цінностям та інтересам, не завжди легко. На основі різноманітного досвіду та проведених досліджень можна стверджувати, що у підлітковому віці одиниці можуть стверджувати про те, ким вони будуть у майбутньому. Переважна більшість людей вагається при виборі свого життєвого шляху «до останнього».

Насправді вражаючи 9 із 10 людей у віці від 21 до 65 років заявляють, що шкодують про те, що поспішали з вибором кар'єри, і багато хто обирає університетський курс навчання, оскільки вони просто не знають, що хочуть робити, і відчують поштовх до прийняття рішення тому, що у них «закінчується час».

Інших батьки переконують йти їх стопами, часто в кар'єрі, яка їм не здається віддалено цікавою. Більше половини з 3000 студентів, які відповіли на опитування GTI Media, [1] заявили, що їх батьки намагались вплинути на вибір кар'єри чи курсу, причому 69% заявили, що їх батьки намагались вплинути на вибір університету.

Тому не дивно, що 20% студентів, які зараз навчаються в університеті, заявляють, що вибрали б інший курс, якби їм дали шанс, а 18% заявили, що шкодують про свій вибір ступеня. Це ж дослідження показало, що 18% з 1805 респондентів називають відсутність початкових досліджень основною причиною свого розчарування.

Окрім фінансових наслідків при неправильному виборі кар'єри, багато наукових досліджень показують, що неправильна професійна діяльність насправді може серйозно впливати і на стан здоров'я – загальна кількість випадків стресу та депресії, пов'язаних з роботою, у 2015/2016 рр. становила 1,5%.

Пройдення тесту на кар'єру в ранньому періоді життя – це один із найкращих способів уникнути плутанини та поганого вибору майбутньої роботи. Насправді дослідження показують, що люди щасливіші та успішніші, якщо вони вибирають кар'єру, яка відповідає їх особистості та схильностям, в той час як опитування кабінету офісів Великобританії у 2014 році показало, що добре оплачувані роботи мали низький рівень добробуту і навпаки [2].

Отже, професійна орієнтація може допомогти при виборі життєвого шляху. Складання професійного іспиту дуже практичне з багатьох причин, по суті, щоб добре вибрати те, що ми хочемо вивчати, але крім того, це допомагає нам пізнати себе, виявити свої інтереси, зрозуміти себе і коли ми досягнемо мети, зможемо бути щасливими.

Аналіз останніх джерел

Доречно згадати, що поняття орієнтації спочатку розроблялося в обмеженій галузі професійної діяльності, тобто вродженому покликанні, яке спрямовує інтерес особистості до певних видів діяльності [3]. Зміни, які зазнала концепція орієнтації, є наслідком еволюції історичних та соціальних факторів. Таким чином концепція професійної орієнтації є наслідком соціально-економічних потреб: пристосування характеристик та можливостей кожної людини до вимог тієї чи іншої професії з метою досягнення максимальних показників на роботі. Для впровадження даної концепції і розповсюдження її серед багатьох людей було проведено безліч психологічних тестів та зроблено велику кількість соціологічних досліджень. На їх основі було створено анкетування, яке допомагає визначити схильність людини до тієї, чи іншої професії [4]. На сьогодні, розроблено доволі багато тестувань, створено онлайн-системи, надруковано брошур та посібників для професійної орієнтації. Але з кожним днем у світі з'являється нова професія і виникає потреба переглянути методики і додати щось нове. В час цифрових технологій все переходить в режим онлайн. Саме тому було вирішено розробити штучний інтелект для вибору майбутньої професії. Штучна нейронна мережа допоможе із більшою точністю спрогнозувати ту працю, яка відповідає усім критеріям вашої індивідуальності, а саме: таланту, зацікавленості, природнім рисам, амбіціям, побажанням родичів та потреби на ринку праці.

Тобто основна мета – створити нову інтелектуальну систему для вибору майбутньої кар'єри.

Виклад основного матеріалу

Штучний інтелект, машинне навчання та нейронні мережі – це терміни, які стають все більш поширеними у повсякденному житті. Розпізнавання обличчя, виявлення об'єктів, класифікація, сегментація та облік людей – загальні завдання для алгоритмів машинного навчання, які вже широко використовуються. За всіма цими процесами стоїть машинне навчання, що означає, що комп'ютери можуть фіксувати основні властивості або ключові характеристики процесів, явищ, коли взаємозв'язки між об'єктами справді складні [5].

В останні роки нейронні мережі утворюють потрійну спільну силу з нечіткою логікою та генетичними алгоритмами. Для того щоб розробити нейронну мережу для прогнозування професії потрібно чітко визначити ціль та об'єкти моделювання, проаналізувати відомі результати, обрати найкращий метод для прогнозування і відповідно математичну модель, проаналізувати та перевірити побудовану модель та одержані результати.

З точки зору вирішення проблем, нейронні мережі відрізняються від звичайних комп'ютерів, що використовують послідовні алгоритми, тоді як нейронні мережі діють як мозок людини, паралельно обробляючи інформацію, а також вони можуть вчитися та узагальнювати ситуації, не включені до навчального процесу. Але на даний момент і вони мають багато недоліків, таких як певна однобічність та схематичність, нагромадження масивів даних, які не завжди використовуються. Тому і триває ошук методів, які будуть задовольняти максимум критеріїв. Зараз для прогнозування широко використовують методи на основі нечіткої логіки і нейронних мереж [6]. Прогнозування на основі нечіткої логіки допускає зробити опис причинно-наслідкових зв'язків між чинниками ризику (причинами), що позначаються на стані предмета, що досліджується, й визначеним прогнозом (наслідком) за допомогою словосполучень природною мовою. Тому можна виконати логічну формалізацію експертного висновку. Тобто описати будову причинно-наслідкових зв'язків, як систему наведених нижче співвідношень (1–4):

$$d = fd(y, w, \dots, z); \quad (1)$$

$$y = fy(x_1, x_2 \dots x_{10}); \quad (2)$$

$$w = fw(x_{11}, x_{12} \dots x_{20}); \quad (3)$$

$$z = fz(x_{21}, x_{22} \dots x_n); \quad (4)$$

де d – це якийсь прогноз;

$y, w, z, x_1 \dots x_n$ – певні чинники, що характеризують схильності та інтереси кожної людини.

Завдяки використанню нейронних мереж, можна змодельовати стан об'єкта, на який діє безліч факторів, що встановлюють прогноз для об'єкта.

Основна ідея концепції глибокого навчання полягає в тому, щоб спостерігати за людським мозком та надихатися ним, щоб спробувати відтворити його поведінку в комп'ютеризованому вигляді. Тому нейронні мережі схожі на своїх біологічних тезок тим, що можуть обробляти інформацію за допомогою певних функцій. Для цього нейрони зібрані в шари та зв'язані як зі своїм шаром, так і з іншими шарами. Функція активації використовується для виходу і визначається так (5):

$$a_i(t+1) = Y_j w_{ij} a_j(t) + x_i(t), \quad (5)$$

де w_{ij} – вага зв'язку нейрона i з іншим нейроном j мережі;

$Y_j w_{ij}$ – стан входів нейрону i , що пов'язаний з нейроном j мережі у певний момент часу t ;

$a_i(t)$ та $a_i(t+1)$ – стан активності нейронів i та j у певний момент часу (t та $t+1$);

$x_i(t)$ – будь-який зовнішній фактор.

Штучні нейрони змодельовані таким чином, що імітують поведінку нейрона мозку. Вони матимуть гілки і ядро або вузол. У вузол будуть входні гілки, які будуть входами нейрона, що надходять від інших нейронів. Ця інформація буде оброблятися у вузлі, і буде генеруватися вихідна інформація, яка буде передаватися через вихідні гілки іншим нейронам.

Ми можемо думати про зв'язки між штучними нейронами як про синапси нейронів мозку. Для проведення обробки кожному синапсу буде присвоєно значення або вагу. Вони дорівнюють «силі» сигналу, який передає кожен синапс. Налаштування цих ваг, для отримання нейронної мережі, яка робить те, що ми хочемо, є дуже важливим. Це особливо важливо при навчанні штучних мереж [7].

Вхідні сигнали, які ми бачимо на попередньому зображенні, є незалежними змінними, вхідними параметрами, які будуть оброблені тілом штучного нейрона, щоб остаточно поширити результат на вихідний сигнал. Отже, стрілки передачі входів до ядра нейрона відіграватимуть роль синапсу нейронів мозку. Тоді ми маємо шар вхідних нейронів, шар прихованих нейронів (на зображенні один) і шар вихідних нейронів (один або кілька).

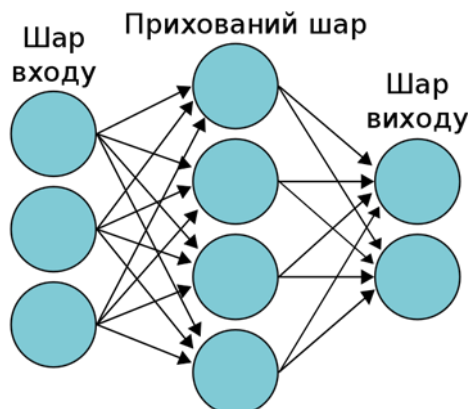


Рис. 1. Штучна нейронна мережа

Основні кроки для розробки системи прогнозування майбутньої професії такі [8]:

- розробка файлу даних;
- розроблення нейропроєкту;
- під'єднання файлу даних до нейропроєкту;
- розробка архітектури нейромережі;
- налагодження параметрів нейромережі;
- обрання алгоритму навчання;
- навчання нейромережі;
- тестування нейромережі на файлі даних.

Як вхідні дані використовувалася інформація щодо рівня розвитку соціально- та професійно-значущих психофізіологічних позицій, основних рис індивідуальності, адаптаційних ресурсів, умов навчання та успішності навчальної діяльності учнів і студентів, що беруть участь у тестуванні. Вихідним параметром у нашому випадку є професія, яка підібрана індивідуально для кожного учасника тестування і відображає результат пройденого анкетування. Також важливою умовою побудови нейромережі є її навчання для досягнення кращих результатів. Навчання мережі полягає у постійному редагуванні її вагових коефіцієнтів. Рандомним чином нейронна мережа бере довільну вибірку з множини вхідних даних. Як бажаний результат прогнозу в нашому випадку береться реальна професія людини, що проходила тест. Проведення навчальних прикладів буде тривати доти, поки не буде досягнена реальна точність збігу прогнозованих та реальних виходів. Є безліч різноманітних методів навчання нейронних мереж. У роботі використано один з найбільш вживаних – метод зворотного розповсюдження похибки. Головна мета методу

полягає у тому, щоб повернути похибки прогнозування від вихідного до вхідного рівня з одночасною зміною вагових коефіцієнтів. Процес навчання мережі закінчується тоді, коли вихідний вектор досягне заданої похибки, відповідно так само, як і в інших методах.

Висновки

На сьогодні розроблено безліч психологічних тестів, алгоритмів та методик вибору майбутньої професії. Але не зважаючи на таку велику кількість конкурентоспроможних систем, кожного дня проводяться дослідження, удосконалюються старі методики та розробляються нові.

Тому розробка нейронної мережі для визначення майбутньої професії є актуальною та багатообіцяючою темою. Від вибору методу залежить на скільки точно буде можливість оцінити психолого-соціальні фактори, які допомагають отримати найкращий результат.

Література

1. One in five students regret their choice of university, new study shows. URL: <https://www.telegraph.co.uk/education/2017/01/20/one-five-students-regret-choice-university-new-study-shows/>
2. Vicar or publican - which jobs make you happy? URL: <https://www.bbc.com/news/magazine-26671221>
3. Чистяков Н.Н. Профессиональная ориентация / Н.Н. Чистяков. – М., 2009. – 274 с.
4. Захаров Н.Н. Профессиональная ориентация школьников: учебное пособие для студентов / Н.Н. Захаров. – М., 2008. – 270 с.
5. Graupe D. Principles of Artificial Neural Networks / Daniel Graupe. – Singapore : World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2013. – 384 p.
6. Любунь З.М. Основи теорії нейромереж : текст лекцій / З.М. Любунь. – Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. – 140 с.
7. Shankar, R. (2016). Neural Networks. MA: MIT Press. 124–132 pp.
8. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети: теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М. : Изд-во "Горячая линия-Телеком", 2001. – 382 с.

References

1. One in five students regret their choice of university, new study shows. URL: <https://www.telegraph.co.uk/education/2017/01/20/one-five-students-regret-choice-university-new-study-shows/>
2. Vicar or publican - which jobs make you happy? URL: <https://www.bbc.com/news/magazine-26671221>
3. Chistyakov N.N. Professional orientation / N.N. Chistyakov. - M., 2009.- p. 274.
4. Zakharov N.N. Professional orientation of schoolchildren: a textbook for students / N.N. Zakharov. - M., 2008 – 270 p.
5. Graupe D. Principles of Artificial Neural Networks / Daniel Graupe. – Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2013. – 384 p.
6. Lyubun Z.M. Fundamentals of neural network theory: text of lectures / Z.M. Lyubun. - Lviv: Publishing Center of LNU, 2006. - 140 p.
7. Shankar, R. (2016). Neural Networks. MA: MIT Press. 124–132 pp.
8. Kruglov V.V. Artificial neural networks: theory and practice / V.V. Kruglov, V.V. Borisov. - M.: Publishing house "Hot line-Telecom", 2001. - 382 p.

Надійшла/Paper received : 18.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

Ю.П. КРИВЕНЧУК, С.В. ГЕЛЕТІЙ
Національний університет "Львівська політехніка"

КОНЦЕПЦІЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕКСТУ В БІТОВУ КАРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ БУДЬ-ЯКОГО ШРИФТУ

Сучасний світ неможливо уявити без обміну інформацією. Газети, журнали, книги, друкована рекламна продукція відіграють велику роль та увесь час удосконалюються та вимагають все більших ресурсів та можливостей. На даний момент, через різке зростання цифрових технологій виникла проблема між можливостями апаратного та програмного забезпечення. Тобто при передачі даних з електронного світу на паперовий відображається різниця між обчислювальними можливостями апаратних та програмних засобів. Це стосується засобів друку, які не можуть передати весь об'єм та глибину зображуваного на екрані. Для друку швидше використовують растрові шрифти, основною вадою яких є їхня немасштабованість. При дослідженні шрифтів у вбудованих системах виникли проблеми з тим, що існує досить невелика кількість готових варіантів перетворення тексту у бітову карту без певних обмежень. Шрифт, який виводиться на екрані та безпосередньо друкується принтером чи іншим пристроєм може суттєво відрізнитись, оскільки кількість пікселів, які можуть бути надрукованими є завеликою. Тому виникає необхідність оптимізації перетворення шрифту у бітову карту, тобто зменшення кількості точок без втрати основи гліфу. У роботі наведено перетворення шрифту у бітову карту за допомогою програми, у якій за основу було взято лінеатуру, тобто поділ зображення на лінії, який використовується у поліграфії. Для того, щоб створити необхідне растрове зображення у програмі потрібно вказати певний гліф та його розмір, а також пристрій, для якого він буде використовуватись. Перетворювач сканування приймає контур і застосовує набір правил, щоб визначити, які пікселі будуть частиною зображення гліфа при друку або відображенні на екрані. Отримані результати дозволяють друкувати вподобані нами шрифти, замість стандартних.

Ключові слова: шрифти, бітова карта, растрове зображення, лінеатура.

YU.P. KRYVENCHUK, S.V. HELETII
Lviv Polytechnic National University

THE CONCEPT OF CONVERTING TEXT INTO A BIT MAP USING ANY FONT

The modern world is impossible to imagine without the exchange of information. Newspapers, magazines, books, printed advertising products play an important role and are constantly being improved and require more and more resources and opportunities. At the moment, due to the sharp growth of digital technology, there is a problem between the capabilities of hardware and software. That is, when transferring data from the electronic world to paper, the difference between the computing capabilities of hardware and software is displayed. This applies to print media that cannot convey the full volume and depth of what is displayed on the screen. Raster fonts are used for printing faster, the main drawback of which is their non-scalability. When studying fonts in embedded systems, there were problems with the fact that there are quite a few ready-made options for converting text to a bitmap without certain restrictions. The font displayed on the screen and printed directly by the printer or other device may differ significantly because the number of pixels that can be printed is too large. Therefore, there is a need to optimize the conversion of the font into a bitmap, ie reducing the number of points without losing the base of the glyph. The paper presents the conversion of a font into a bitmap using a program based on a ruler, ie the division of the image into lines, which is used in printing. In order to create the required bitmap image in the program, you need to specify a specific glyph and its size, as well as the device for which it will be used. The scan converter takes a path and applies a set of rules to determine which pixels will be part of the glyph image when printed or displayed on the screen. The obtained results allow us to print the fonts we like, instead of the standard ones.

Keywords: fonts, bitmap, raster image, liniatura.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день існує велике різноманіття шрифтів, які використовуються у комп'ютерних системах. Однак, якщо мова заходить про використання шрифту у вбудованій системі (embedded system), то різноманітність різко зменшується до кількох варіантів. Тому існує велика проблема в динамічному перетворенні тексту в бітову карту з використанням того, чи іншого шрифту без жорстких обмежень. Бітова карта в цифрових зображеннях – це матриця, що зберігає значення елементів зображення (пікселів). Кожен піксель в складі растрового шрифту кодується за допомогою одного біта. Растрове зображення символу являє собою набір бітів – бітову карту. При відображенні тексту бітова карта символу копіюється на пристрій відображення. В наш час в мережі Інтернет доступно декілька варіантів форматів шрифтів. Проте, всі вони являються растровими. Коли для вбудованих систем це є недопустимим варіантом через те, що вони мають обмежену обчислювальну здатність. Подана проблема є актуальною. Перетворення растрового шрифту у бітову карту із заданою точністю (dpi) з використанням мінімальних ресурсів є актуальною проблемою сьогодення.

Аналіз останніх джерел

Шрифт комп'ютерний – комплект букв, цифр і спеціальних символів, оформлених відповідно до єдиних вимог. Відрізняються малюнком (гарнітура), шрифтом (прямий, курсивний), розмірами (кегль). Апаратні механізми генерації літер певного накреслення при індикації їх на екрані монітора і при друку досить складні. Набір доступних користувачеві шрифтів залежить від того, які були інсталювані і які підтримуються пристроєм друку. Більшість шрифтів є масштабованими (scalable), що дозволяють без втрати

якості отримати будь-який розмір (кегль) даного накреслення.

Причому на жорсткому диску не зберігаються всі можливі кеглі даного шрифту. Вони генеруються (масштабуються) у міру необхідності (тобто обчислюються). Робота на персональних видавничих системах пов'язана з видачею символів на два пристрої: дисплей і принтер. У зв'язку з цим завжди слід уточнювати, про що мова: про принтерне або про екранне виведення. В обох випадках кожна літера представляється групою зафарбованих квадратиків (точок) на сітці шрифтового растра. Збільшений вигляд дає таку картину:

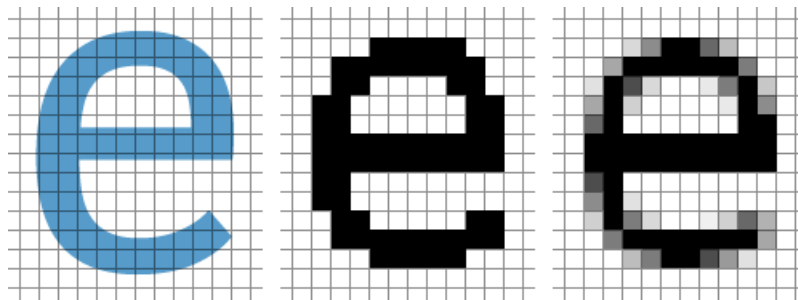


Рис. 1. Вид растрового символу «е» при збільшенні (набір точок)

Незважаючи на однаковий спосіб побудови, однойменні друковані та екранні шрифти відрізняються. Переважно розрізнення зводиться до того, що принтер приймає певний набір шрифтів, які не можна адекватно відобразити на екрані монітора. Доводиться робити пробну роздруківку, що дає уявлення, чи задовольняє результат, або користуватися таблицями шрифтів.

Навіть якщо існує можливість адекватного відображення шрифту на дисплеї (за допомогою графічних редакторів або графічних режимів в текстових процесорах), не можна бути впевненим у повній відповідності зображення на екрані і на папері, через відмінні здібності принтера та дисплея. Розбігається також шкала щільності. Більшість принтерів сьогодні забезпечують роздільну здатність до 1200 крапок на дюйм. Але дозвіл звичайного монітора в середньому дорівнює приблизно 200 точок на дюйм (для екранів телефонів ця цифра зростає до 400 точок на дюйм). Це набагато гірше, ніж у «найслабшого» принтера. Тому текст на екрані часто сильно відрізняється від тексту на роздруківці.

Наступною причиною, що заслуговує уваги є відмінності в способах генерації символів для екранного шрифту та для принтера. Традиційним є метод бітової карти, коли генерується «вручну» один (або декілька) кеглів, а всі інші генеруються автоматично пропорційним збільшенням або зменшенням.

Збільшення не викликає проблем при цілочисловому коефіцієнті (2, 3 і т.д.): просто збільшується в відповідне число раз кількість точок на бітійовій матриці по вертикалі і по горизонталі. Набагато складніше виконувати збільшення при дрібних коефіцієнтах. З труднощами пов'язане також зменшення кегля. Але навіть збільшення в ціле число раз «не відбувається гладко». Стає яскраво вираженим так званий «сходовий ефект»: дрібні сходишки з крапок, з яких утворюється символ.

З деяких пір всі розроблювані шрифти генеруються не на основі бітових карт, а шляхом побудови ескізів літер набором описуваних формулами кривих. У момент друку за формулами будується бітова карта для будь-якої роздільної здатності і розміру.

Математичний опис форм літер забезпечує друкарську якість і уникнення «сходового ефекту» для зображення для будь-яких кеглів. Особливо потужним засобом є спеціальна мова опису сторінок (мова програмування) PostScript, що дозволяє робити над символами і малюнками різноманітні маніпуляції: обертання, розтягнення, стиснення і т.д. Подання літер, що генеруються відповідно до математичних формул, однакове на будь-якому пристрої. З точки зору сучасних комп'ютерних систем втрачає силу старе правило, згідно з яким набір доступних шрифтів визначається використовуваним принтером.

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для перетворення растрових шрифтів у бітову карту задля друку тексту відповідним шрифтом із заданою точністю.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети було вирішено розробити програмне забезпечення на мові C, що буде перетворювати шрифт у бітову карту. Для цього потрібно зрозуміти схему формування шрифту на екрані та його підготовку для відображення.

Існує два типи шрифтів для пристроїв, які можна вказати на принтерах:

- Растрові шрифти
- Масштабовані шрифти

Растрові шрифти – це шрифти, які мають визначення гліфу (в технологіях введення тексту, гліф – це сімейство методів введення тексту, засноване на розбитті букв на базові форми) фіксованого розміру. Масштабовані шрифти – це шрифти, які мають у принтері математичне визначення, щоб їх можна було намалювати будь-якого розміру. Тобто його розмір змінюється.

Класичним прикладом растрового шрифту є Courier Characters per Inch (IRC). Як випливає з назви, цей шрифт є переходом від друкарських машинок до принтерів ударного типу. Його називають растровим шрифтом, оскільки найпоширенішим визначенням шрифту було відображення растрового зображення ПЗУ з матричного принтера.

На більшості принтерів з PostScript (мова опису сторінок, в основному використовується в настільних видавничих системах) можна знайти приклади масштабованих шрифтів, що постійно розміщуються на принтері, де зазвичай існує стандартний набір шрифтів PostScript, таких як Helvetica та Times.

Растрові зображення зберігаються у вигляді серії крихітних точок, які називаються пікселями. Кожен піксель насправді є дуже маленьким квадратиком, якому присвоюється колір, а потім розташовується у візерунку для формування зображення. При збільшенні растрового зображення ви можете побачити окремі пікселі, що складають це зображення.

Растрова функція – двовірна квадратна матриця, в осередках якої стоять вагові значення субелементів, що утворюють друковані або пробільні елементи. Функції растра дозволяють задавати операції обробки, які можуть застосовуватися до одного або декількох растрів. Ці функції застосовуються до растрових даних «на льоту» під час доступу до зображень і їх перегляду.

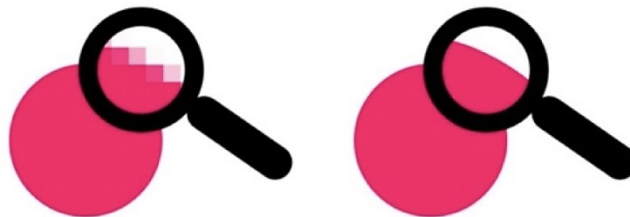


Рис. 2. Растрове та векторне зображення при масштабуванні

Під час друку зображення на принтері враховується ще одна важлива функція, а саме частота растра. При раструванні, зображення представляється у вигляді матриці півтонових осередків. Розмір напівтонового осередку матриці, що визначає лініатуру (lpi), може змінюватися, а ось відстань між друкованими точками фіксована і залежить від дозволу принтера (dpi). Частота растра, або лініатура растра, параметр, що характеризує растрову структуру кількістю її елементів (ліній з растрових точок) на одиницю довжини. В даний час лініатуру вимірюють в лініях на дюйм.

Головна проблема, що стоїть перед нами є те, що растрові шрифти мають зовелику роздільну здатність і тому не можуть відтворюватися у вбудованих системах. Тобто кількість пікселів, які мають бути надрукованими є зовеликою. Саме тому, основною ідеєю програми є зменшення кількості точок без втрати основи гліфу.

При розробці програмного забезпечення, за основу, було взято лініатуру, тобто поділ зображення на лінії, який використовується у поліграфії. Коли програма запитує певний гліф певного розміру для певного пристрою, механізм шрифтів створить необхідне растрове зображення. Першим кроком у цьому процесі є масштабування основного контуру до бажаного розміру. Масштабування контуру – це робота тієї частини механізму шрифтів, відомого як скалер. Коли основний контур масштабується, точки, що складають контур гліфа, змінюються з незалежних від пристрою одиниць вимірювання. Після того, як основний контур буде масштабований, він готовий до растризації за допомогою перетворювача сканування. Перетворювач сканування приймає контур і застосовує набір правил, щоб визначити, які пікселі будуть частиною зображення гліфа при друку або відображенні на екрані. Після обробки програмою виходить результат наведений на рисунку нижче:

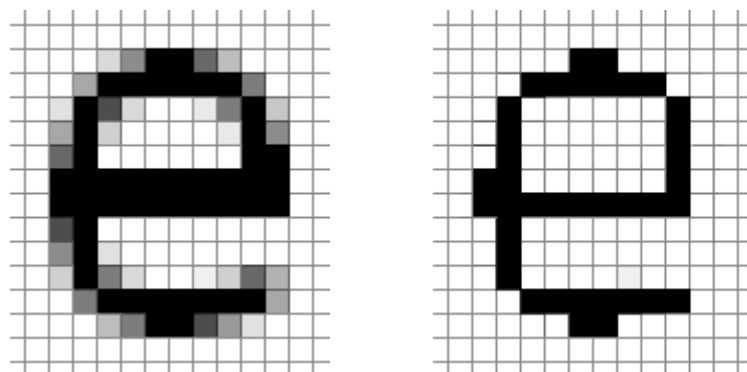


Рис. 3. Символ до обробки програмою (ліворуч) та після її використання (праворуч)

За рахунок зменшення частоти растра є можливість друкувати «об'ємні» шрифти у вбудованих системах.

Висновки

Для друку тексту відповідним шрифтом із заданою точністю розроблено програмне забезпечення. Воно дозволяє друкувати вибрані шрифти у вбудованих системах не перетворюючи їх на «примітивні» вбудовані у пристрої стандартні шрифти. Ця проблема є вузько направленою та вимагає істотних

досліджень в області поліграфії та друкарства. За рахунок опрацювання даних областей науки і було розроблено програмне забезпечення.

Література

1. Філіпович А.Ю. Розробка шрифтових елементів : курс практичних занять / Філіпович А.Ю. – 2008. – 129 с.
2. Шрифти. Розробка і використання / [Баришніков Г.М., Бізя А.Ю., Єфімов В.В., Моїсєєв А.А., Почтар Е.І., Ярмола Ю.А.]. – Москва : Друкарня АО «Молода гвардія».
3. V.A. Artemov (1933) Technographic analysis of summarized letters of new alphabet. Writing and revolution. 1, 58–76.
4. Lilley C. The "font" Top-Level Media Type. Internet Engineering Task Force, 2017. 18 p.
5. Murray, Stephen. "Graphic Devices." Computer Sciences, edited by Roger R. Flynn, vol. 2: Software and Hardware, Macmillan Reference USA, 2002, pp. 81–83.
6. Анісімов В.А. Основні алгоритми обчислювальної геометрії : навч. посібник / Анісімов В.А., Терещенко В.М., Кравченко І.В. – К. : Київський університет, 2002. – 82 с.
7. Ньюмен У. Основы интерактивной машинной графики / Ньюмен У., Спрул Р. – М. : Мир, 1976. – 574 с.
8. Шикин Е.В. Кривые и поверхности на экране компьютера / Шикин Е.В., Плисс А.И. – М. : Диалог МИФИ, 1996. – 240 с.
9. Гайдуков С.А. OpenGL. Профессиональное программирование трехмерной графики на C++ / Гайдуков С.А. – СПб : Питер, 2004. – 716 с.

References

1. Filipovich A.Y. Development of font elements: a course of practical training. 2008. p. 129
2. Baryshnikov G.M., Bizya A.Yu., Yefimov V.B., Moiseev A.A., Pochtar E.I., Yarmola Y.A. Fonts. Development and use, Printing House AO "Young Guard", Moscow
3. V.A. Artemov (1933) Technographic analysis of summarized letters of new alphabet. Writing and revolution. 1, 58–76
4. Lilley C. The "font" Top-Level Media Type (English) - Internet Engineering Task Force, 2017. 18 p.
5. Murray, Stephen. "Graphic Devices." Computer Sciences, edited by Roger R. Flynn, vol. 2: Software and Hardware, Macmillan Reference USA, 2002, pp. 81–83.
6. Anisimov V.A., Tereshchenko V.M., Kravchenko I.V. Basic algorithms of computational geometry: Textbook. Manual. Kyiv: Kyiv University, 2002. 82 p.
7. Newman W., Sprul R. Fundamentals of interactive machine graphics. M.: Mir, 1976. 574 p.
8. Shikin E.V., Pliss A.I. Curves and surfaces on a computer screen. M.: Dialogue MEFH, 1996. 240 p.
9. Gaidukov S.A. OpenGL. Professional programming of 3D graphics in C ++. SPb: Peter, 2004. 716 p.

Надійшла/Paper received : 08.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

Т.В. РОМАНЕНКО

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Н.Г. РУСІНА

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

У статті представлені приклади дослідження типових ланок лінійних систем та побудови й вивчення перехідних функцій (дослідження впливу параметрів елементів систем автоматичного керування на її якість). А саме: дослідження якості лінійних систем автоматичного керування шляхом визначення коефіцієнта помилки; дослідження впливу постійної часу форсуючої ланки на якість систем автоматичного керування методом дослідження якості перехідного і сталого режимів систем автоматичного керування; ідентифікацію регулятора і об'єкту керування систем автоматичного керування методом компенсації частини в основній інерційності об'єкту керування, для застосування форсуючої ланки. Для цього було застосовано візуальну мову програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim.

Ключові слова: моделювання динамічних систем, мова програмування VisSim, система автоматичного керування.

TETIANA V. ROMANENKO

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

NATALIIA G. RUSINA

Taras Shevchenko National University of Kyiv

USE OF VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE FOR SIMULATION OF DYNAMIC SYSTEMS

The article presents examples of research of typical links of linear systems and construction and study of transient functions, namely: research of influence of parameters of elements of systems of automatic control of its quality. Programs for automatic control are developing rapidly, the main areas of which are related to the optimization of technological processes and robotics. This encourages the introduction into modern production of high-precision digital systems with more extensive use of computer systems. In the simulation process, there is often a need to carefully select and apply real objects to study the quality of automatic control systems. This can be achieved by using a visual programming language for modeling dynamic systems and designing VisSim. The connection of parameters of automatic control systems with indicators of its quality is investigated: by definition of error coefficient; research of influence of a constant time of a forcing link on quality of automatic control systems by the method of compensation of the part in the main inertia of the control object, for the use of the forcing link. As a result, of research graphic dependences of quality of linear systems of automatic control, research of influence of a constant of time of a forcing link on its quality, carrying out identification of the regulator and object of management of systems of automatic control are received. Studies of the process of modeling dynamic systems were visually presented using the visual programming language VisSim. In particular, by creating virtual laboratory stands to study the quality of different modes of automatic control systems in relation to the performance of signal generators and the calculation of the necessary parameters of the study.

Keywords: modeling of dynamic systems, VisSim programming language, automatic control system.

Постановка проблеми

Нині для моделювання динамічних систем існують спеціальні програмні засоби та мови програмування різного рівня, за допомогою яких можна виконувати задачі моделювання. Для цього можна застосовувати: Mathcad [1], MATLAB [2], VisSim [3] та інші.

Проблема обрахунку показників якості є актуальною для процесу створення систем автоматичного керування (САК). Вона полягає у виявленні діапазонів зміни величини, що досліджується й збурення, та їхніх початкових похідних за зміною часу, в яких працюватиме САК із заданими показниками якості. Зокрема, якщо знати дані швидкодії та помилки стеження САК в режимі переходу, маючи показники частоти і величини факторів, які зумовлюють перехідний процес в САК, можна буде оцінити тривалість роботи САК з перебільшеною кількістю допустимих помилок.

Подальше вдосконалення обрахунку показників якості є може бути здійсненим за допомогою інших мов програмування.

Аналіз останніх джерел

Вагомий внесок у розвиток теорії автоматичного керування зробили Андронов О. О., Боголюбов М. М., Вознесенський І. М., Гольдфарб Л. С., Лур'є А. І. та ін. [4].

Питаннями автоматичного керування та моделювання присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних авторів [4–11]. В роботах [12, 13] було представлено дані про роботу елементів амплітудно-імпульсних та цифрових систем автоматизованого регулювання з використанням візуальної мови програмування VisSim.

Програми для автоматичного керування стрімко розвиваються, основні напрями яких пов'язані з оптимізацією технологічних процесів і робототехнікою. Це спонукає до впровадження у сучасне виробництво високоточних цифрових систем із більш об'ємнішим застосуванням обчислювальних систем.

У процесі моделювання часто виникає потреба вибачено вибирати та застосовувати реальні об'єкти для дослідження якості систем автоматичного керування. Цього можна досягти за допомогою мови програмування VisSim.

Мета статті полягає в дослідженні методів аналізу якості САК, проведенні експериментального визначення показників якості перехідного та усталеного режимів роботи САК, дослідженні зв'язку параметрів САК із показниками її якості.

Виклад основного матеріалу

Моделювання процесів автоматизованих систем керування має широке застосування в сучасній науці, техніці, економіці та освіті [10].

Принципи автоматичного керування ґрунтуються на забезпеченні потрібної якості управління в процесі гнучкої, надійної дискретно-керованої САК. Завдяки цьому з'явилася можливість, завдяки якій велику кількість (множини) різних сигналів, що знаходяться на вході регулятора, можна сформувати у вихідну функцію (лінійну, нелінійну).

Для дослідження впливу параметрів елементів САК на її якість можна використати візуальну мову програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim [12].

Візуальна мова програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim – це мова програмування, призначена для моделювання динамічних систем та проектування, яка ґрунтується на моделях для вбудованих мікропроцесорів. У VisSim міститься інтуїтивний інтерфейс, для можливості побудови блочних діаграм. Програма VisSim має потужне моделююче ядро, слугує для будування, оптимізації та дослідження моделей технічних об'єктів чи систем керування [14].

Завдяки VisSim можна легко та швидко створювати віртуальні прототипи довільної динамічної системи. Базовий продукт програми VisSim застосовується для загального моделювання, імітації, системи керування дизайнерськими програмами та іншого [15].

Розглянемо приклади дослідження типових ланок лінійних систем та побудови й вивчення перехідних функцій для дослідження впливу параметрів елементів САК на її якість.

1. Дослідження якості лінійної САК

Основний принцип експериментального визначення коефіцієнтів помилок детально розглянуто Федосовим Б.Т. [11].

Визначення коефіцієнта помилки за положенням

З формули

$$e(t) = c_0 x(t), x(t) = \text{const}, \quad (1)$$

виходить, що при постійній дії, що дорівнює одиниці, помилка регулювання буде визначати рівності коефіцієнта помилки за положенням c_0 . Тобто, число помилки, що стало в результаті дії на САК ступінчастої одиничної функції рівний коефіцієнту помилки положення c_0 [11].

Наведемо приклад експериментального визначення коефіцієнта помилки за положенням для наявної системи.

Визначення часу регулювання t_p , перерегулювання σ і коефіцієнта помилки за положенням c_0 . Основа віртуального лабораторного стенду для дослідження якості перехідного режиму САК і визначення її коефіцієнтів помилок, що представлено на рисунку 1.

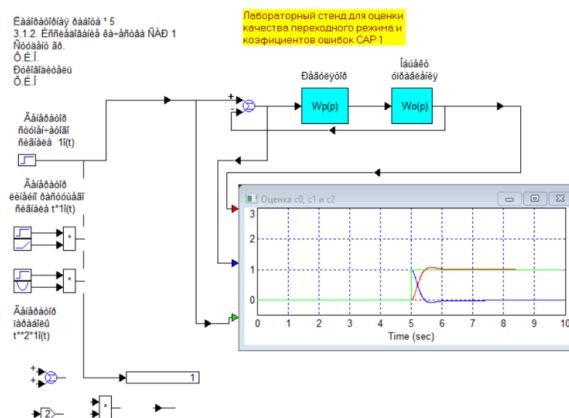


Рис. 1. Основа віртуального лабораторного стенду для дослідження якості перехідного режиму САК і визначення її коефіцієнтів помилок

Таблиця 1

Показники генераторів сигналів

Генератор сигналу	t_p	σ	c_0
Ступінчастого	1 с	160	-1.66533
Лінійно зростаючого	0.5 с	200	0.163043
Параболи	0.5 с	200	16.4146

Значення c_0 зображені на рисунку 2

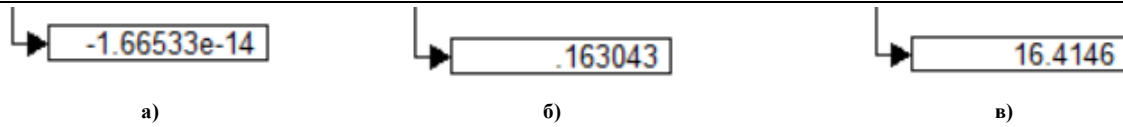


Рис. 2. Показники генератору сигналу c_0 : а) ступінчастий; б) лінійно зростаючий; в) параболи

Визначення коефіцієнта помилки за швидкістю

Під час лінійно зростаючих параметрів $t=10$ (t) після завершення перехідних процесів для дослідження помилки можна на основі рівняння (2)

$$e(t) = c_0 x(t) + c_1 \frac{d}{dt} x(t) + \frac{c_2}{2} \frac{d^2}{dt^2} x(t) + \dots, \quad (2)$$

записати:

$$e(t)_{t \rightarrow \infty} = c_0 t + c_1, \quad (3)$$

оскільки в режимі, що вже встановився, перша похідна завдання матиме значення, що рівне одиниці $d/dt \{x(t)\} = 1$, а друга похідна завдання рівна нулю: $d^2/dt^2 \{x(t)\} = 0$. Звідси

$$c_1 = e(t)_{t \rightarrow \infty} - c_0 t, \quad (4)$$

Приклад експериментального визначення коефіцієнта помилки за швидкістю для даної системи.

Визначення коефіцієнта помилки за швидкістю c_1 , зображено на рисунку 3. Якщо $c_0 = -1.66533$, то c_1 за даною схемою дорівнює 17.2698190970456.

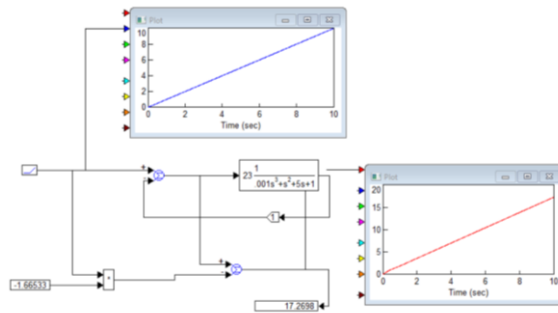


Рис. 3. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 0.163043$, то c_1 за цією схемою дорівнює -1.01391, як на рисунку 4.

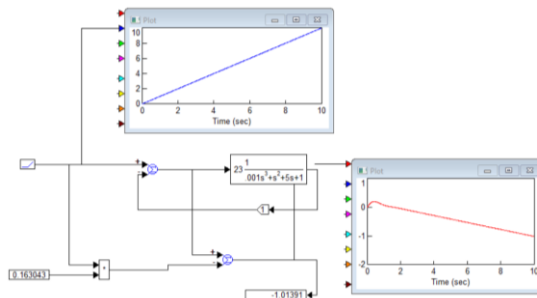


Рис. 4. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 16.4146$, то c_1 за схемою дорівнює -163.529, як на рисунку 5.

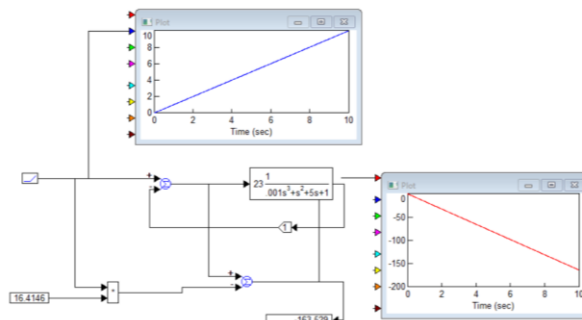


Рис. 5. Визначення параметра c_1

У САК першого порядку астатизму сам коефіцієнт помилки за показниками положення c_0 рівний нулю і схема його визначення спрощується.

Також, на базі формули (2) за аналогією з (3) та (4) може бути побудована й модель для експериментального визначення **коефіцієнта помилки за прискоренням**. В даному випадку на вході САК потрібно подавати сигнал, що зростає по параболі [11].

Визначення коефіцієнта помилки за прискоренням c_2 .

Враховуючи формулу (2), під час параболічної дії виду $x(t) = t^2 l_0(t)$, що має похідні із $t > 0$:

$$\dot{x}(t) = 2t, \quad \ddot{x}(t) = 2, \quad (5)$$

коефіцієнт помилки за прискоренням c_2 буде:

$$c_2 = e(t)_{t \rightarrow \infty} - c_0 t^2 - c_1 \cdot 2t, \quad (6)$$

2. Дослідження впливу постійної часу форсуючої ланки на якість САК

Для збільшення швидкодії САК **форсисним** способом можна використати спосіб послідовного включення на її вході форсуючої ланки та оцінити можливості скорочення часу регулювання, визначення параметрів якості САК.

Визначення часу параметрів якості перехідного режиму і коефіцієнта помилки за положенням c_0 показано на рисунку 6 та показниками генераторів сигналів (табл. 2).

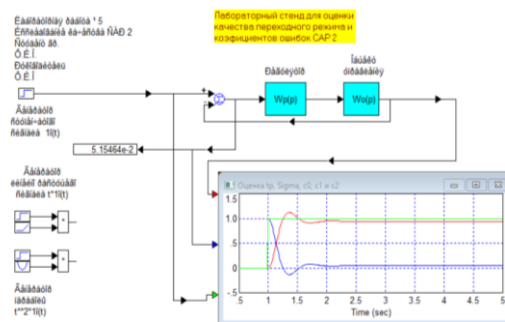


Рис. 6. Основа віртуального лабораторного стенду для дослідження якості перехідного і сталого режимів САК. Внутрішня структура регулятора і об'єкту керування невідома (захищена паролем)

Таблиця 2

Показники генераторів сигналів

Генератор сигналу	t_p	σ	c_0
Ступінчастого	0.5 с	300	0.051546
Лінійно зростаючого	0.6с	200	2.67534
Параболи	0.6 с	100	24.5398

Значення c_0 зображено на рисунку 7.

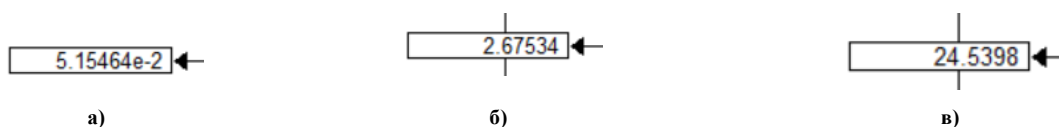


Рис. 7. Показники генератору сигналу c_0 : а) ступінчастий; б) лінійно зростаючий; в) параболи

Визначення коефіцієнта помилки за швидкістю c_1 , зображено на рисунку 8. Якщо $c_0 = 0.051546$, то c_1 за даною схемою дорівнює -0.294114.

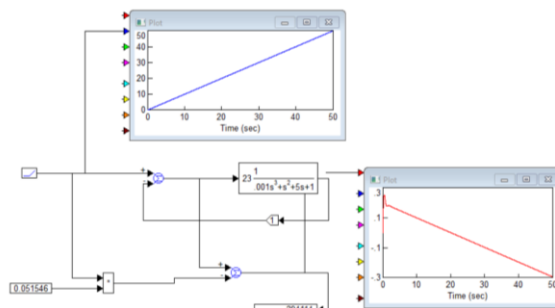
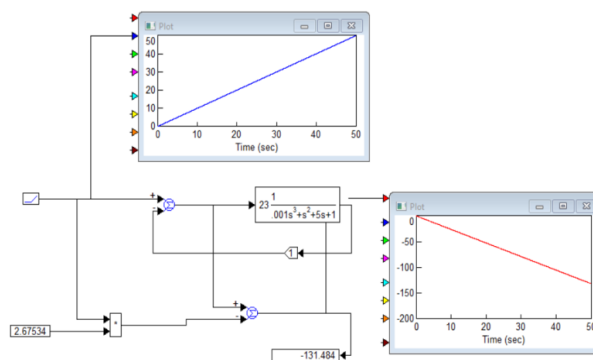
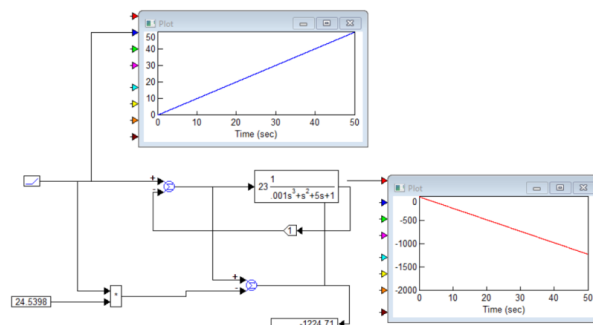


Рис. 8. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 2.67534$, то c_1 за даною схемою дорівнює -131.484, що показано на рисунку 9.

Рис. 9. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 24.5398$, то c_1 по даній схемі дорівнює -1224.71 , що на рисунку 10.

Рис. 10. Визначення параметра c_1

3. Ідентифікація регулятора і об'єкту керування САК

Дослідження впливу постійної часу форсуючої ланки на якість САК, зображено на рисунку 11.

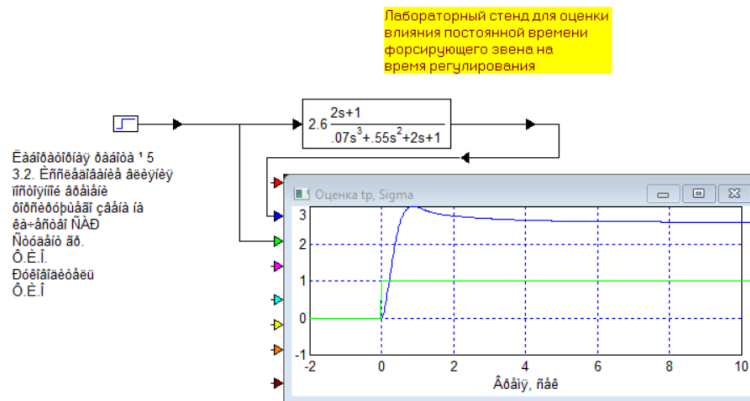


Рис. 11. Лабораторний стенд для оцінки впливу постійної часу форсуючої ланки на якість САК

Слід зауважити, що будь-яка математична модель реального об'єкту чи системи спеціально обмежена. Це зроблено для того, щоб дослідники будуючи моделі, описували тільки основні та, необхідні властивості систем для вирішення конкретного завдання. Завдяки таким обмеженням створені моделі стануть осяжними, що значно полегшує їх дослідження.

Однак, для процесу збільшення швидкодії САК методом компенсації частини в основний інерційності об'єкту керування, для застосування форсуючої ланки є неминучим. Для цього будуть потрібні дуже великі потужності для процесу керування об'єктом. На це слід звертати увагу.

Тому, схема проєктованої САК окреслюється не тільки необхідністю виконання самих вимог якості керування, що здобувається за допомогою моделі, але ще й іншими вимогами, що виникають на певних етапах реалізації оптимізованої моделі (може вплинути на зміни моделі або її елементів).

Ідентифікація регулятора САК, зображено на рисунку 12.

Лабораторная работа № 5
3.3.1. Идентификация
регулятора САР 1
Студент гр.
Ф.И.О.
Руководитель
Ф.И.О.

Лабораторный стенд для идентификации
регулятора САР 1



Рис. 12. Стенд для ідентифікації регулятора САК

За перехідною функцією в цьому разі доцільно збудувати модель, яка складатиметься з паралельного з'єднання ланок:

$$W_p(p) = k_n + \frac{1}{pT_u}, \quad (7)$$

а за частотними характеристиками – модель з послідовно сполучених ланок:

$$W_p(p) = k_p + \frac{(pT_\phi + 1)}{p}, \quad (8)$$

Поведінка частотних характеристик на високих частотах представлені на рисунку 13.

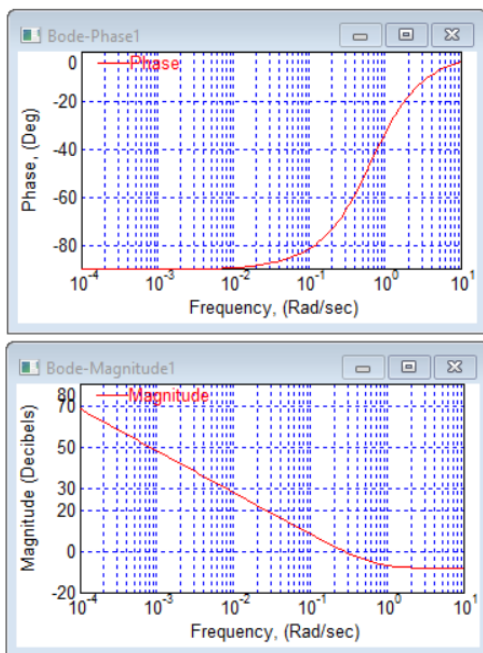


Рис. 13. Поведінка частотних характеристик на високих частотах

сигналів (табл. 1; табл. 2) та обчислень необхідних параметрів дослідження.

Висновки

Отже, застосовуючи методи аналізу якості САК, експериментально виявивши показники якості перехідного і сталого режиму роботи САК, дослідили зв'язок параметрів САК із показниками її якості за допомогою візуальної мови програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim. Схеми проектованої САК окреслюються виконанням вимог якості керування, які набуваються за допомогою моделей та інших вимог, що виникають на певних етапах реалізації оптимізованої моделі, зокрема, урахуванням виявлених коефіцієнтів помилок різних досліджуваних характеристик.

Отримані дослідження типових ланок лінійних систем та побудови й вивчення перехідних функцій для дослідження впливу параметрів елементів САК на її якість та були візуально представлені за допомогою візуальної мови програмування VisSim у вигляді створених віртуальних лабораторних стендів для дослідження якості різних режимів САК відносно показників генераторів сигналів та обчислень необхідних параметрів дослідження.

Література

1. PTC Mathcad Prime [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://mathcad.com.ua/>.
2. MATLAB [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
3. VisSim – Modelling and Simulation of Complex Dynamic System [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/VisSim>
4. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування : підручник / Попович М. Г., Ковальчук О. В. – 2-е вид., перероб. і доп. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.
5. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування : підручник / А. О. Іванов – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.
6. Гоголюк П.Ф. Теорія автоматичного керування : підручник / П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 285 с.
7. Бобух А.О. Автоматизація інженерних систем : навч. посібник / А.О. Бобух. – Харків : ХНАМГ, 2005. – 212 с.
8. Peter A. Darnell. C A Software Engineering Approach: A Software Engineering Approach / Peter A. Darnell, Philip E. Margolis. – USA : Springer – 3rd ed., 1996. – 526 p.
9. Karen Darnell. Visual Simulation: With Student VisSim (General Engineering) / Karen Darnell. – Pws Pub Co: Pap/Dsk edition, 1996. – 278 p.
10. Харабет О.М. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера / Харабет О.М. – Одеса : Бахва, 2014. – 205 с.
11. Федосов Б.Т. Об оценке качества линейных САР с использованием программ моделирования [Електронний ресурс] / Федосов Б.Т. – Казахстан, 2003. – Режим доступа : http://model.exponenta.ru/bt/bt_0004.html
12. Бодненко Т.В. Дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання у програмному середовищі VisSim / Т.В. Бодненко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2015. – № 21 (1130). – С. 23–29.
13. Бодненко Т.В. Використання сучасних комп'ютерних технологій для автоматизації виробничих процесів / Т.В. Бодненко // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/2 (22). – С. 43–49.
14. VisSim. A graphical language for simulation and model-based embedded development [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.VisSim.com/>
15. VisSim 5.40 User Manual – Berlin, Germany: PTV Planung Transport Verkehr AG, epubli., 2012. 732 p.

References

1. PTC Mathcad Prime [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu : <http://mathcad.com.ua/>.
2. MATLAB [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
3. VisSim – Modelling and Simulation of Complex Dynamic System [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/VisSim>
4. Popovych M. H. Teoriia avtomatichnoho keruvannia : pidruchnyk / Popovych M. H., Kovalchuk O. V. – 2-e vyd., pererob. i dop. – K. : Lybid, 2007. – 656 s.
5. Ivanov A. O. Teoriia avtomatichnoho keruvannia : pidruchnyk / A. O. Ivanov – Dnipropetrovsk : Natsionalnyi hirnychiy universytet, 2003. – 250 s.
6. Hoholiuk P.F. Teoriia avtomatichnoho keruvannia : pidruchnyk / P.F. Hoholiuk, T.M. Hrechyn. – Lviv : Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika", 2008. – 285 s.
7. Bobukh A.O. Avtomatizatsiia inzhenernykh system : navch. posibnyk / A.O. Bobukh. – Kharkiv : KhNAMH, 2005. – 212 s.
8. Peter A. Darnell. C A Software Engineering Approach: A Software Engineering Approach / Peter A. Darnell, Philip E. Margolis. – USA : Springer – 3rd ed., 1996. – 526 p.
9. Karen Darnell. Visual Simulation: With Student VisSim (General Engineering) / Karen Darnell. – Pws Pub Co: Pap/Dsk edition, 1996. – 278 p.
10. Kharabet O.M. Vyvchennia klasychnoi teorii avtomatichnoho upravlinnia za dopomohoiu suchasnoho personalnoho kompiutera / Kharabet O.M. – Odesa : Bakhva, 2014. – 205 s.
11. Fedosov B.T. Ob ocenke kachestva lineynykh SAR s ispol'zovaniem programm modelirovaniya [Elektronnij resurs] / Fedosov B.T. – Kazakhstan, 2003. – Rezhim dostupa : http://model.exponenta.ru/bt/bt_0004.html
12. Bodnenko T.V. Doslidzhennia elementiv amplitudno-impul'snykh i tsyfrovyykh system avtomatyzovanoho rehuliuвання u prohramnomu seredovishchi VisSim / T.V. Bodnenko // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – Kh. : NTU «KhPI». – 2015. – № 21 (1130). – S. 23–29.
13. Bodnenko T.V. Vykorystannia suchasnykh kompiuternykh tekhnolohii dlia avtomatyzatsii vyrobnychykh protsesiv / T.V. Bodnenko // Tekhnolohicheskyy audit y rezervy proyzvodstva. – 2015. – № 2/2 (22). – С. 43–49.
14. VisSim. A graphical language for simulation and model-based embedded development [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.VisSim.com/>
15. VisSim 5.40 User Manual – Berlin, Germany: PTV Planung Transport Verkehr AG, epubli., 2012. 732 p.

РОМАНЕНКО Т. В.

ORCID ID: 0000-0002-9790-2718

tan.romanenko25@gmail.com

РУСИНА Н. Г.

ORCID ID: 0000-0002-5595-9548

e-mail: rusina@knu.ua

Надійшла/Paper received : 26.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-116-122

УДК 621.924.7

М.Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

І.В. ПАНАСЮК

Київський національний університет технологій та дизайну

**ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО МОМЕНТУ ОПОРУ ВЕДУЧОГО ВАЛУ
ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ, СТВОРЕНОГО МАСОЮ
СИПКОГО СЕРЕДОВИЩА У РОБОЧІЙ ЄМКОСТІ**

З поміж різних типів галтувального обладнання, яке широко використовується у різних галузях промисловості України найбільш перспективним вважаються машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Виконані експериментальні дослідження переміщення сипкого середовища в середині робочої ємкості з прозорими стінками. Встановлені положення рухомих ланок та робочої ємкості, при яких усе сипке середовище своєю масою буде створювати найбільше значення статичного моменту опору на ведучому валу машини. Виконані аналітичні дослідження статичного моменту опору, що утворюється на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості в результаті впливу сили тяжіння, яка діє на завантажене до ємкості сипке середовище, отримані відповідні математичні залежності. Отримані результати досліджень стануть у нагоді при подальшому визначенні динамічного моменту опору на ведучому валу, який буде створений в результаті переміщення рухомих ланок машини та сипкого середовища в середині ємкості. Також результати досліджень можуть бути використані відповідними машинобудівними підприємствами на стадії проектування галтувальних типів обладнання з ємкостями, що виконують складний просторовий рух.

Ключові слова: галтувальне обладнання, сипке середовище, статичний момент опору.

M.G. ZALYUBOVSKYI

Open International University of Human Development "Ukraine"

I.V. PANASYUK

Kyiv National University of Technology and Design

**DETERMINATION OF THE STATIC MOMENT OF THE RESISTANCE OF THE DRIVE SHAFT OF THE
REPLACING MACHINE, CREATED BY THE MASS OF THE BULK ENVIRONMENT IN THE WORK TANK**

Among the different types of shredding equipment, which is widely used in various industries of Ukraine, the most promising are machines with complex spatial movement of working tanks. Experimental studies of the movement of the bulk array in the middle of the working tank with transparent walls were performed. The positions of the moving links and the working capacity are set, at which the whole bulk array by its mass will create the greatest value of the static moment of resistance on the driving shaft of the machine. Analytical studies of the static moment of resistance formed on the drive shaft of the machine with complex spatial motion of the working tank as a result of the influence of gravity acting on the bulk array loaded into the tank, the corresponding mathematical dependences are obtained. The obtained research results will be useful in further determining the dynamic moment of resistance on the drive shaft, which will be created by moving the moving parts of the machine and the bulk array in the middle of the tank. Also, the results of research can be used by relevant machine-building enterprises at the stage of designing galvanizing types of equipment with tanks that perform complex spatial movement.

Key words: shredding equipment, bulk array, static moment of resistance.

Постановка задачі. Підвищення продуктивності виготовлення металевих та полімерних деталей значною мірою залежить від скорочення часу, який витрачається на реалізацію підготовчих та фінішних галтувальних технологічних операцій. На ці операції витрачається до 80% [1] технологічного часу. У легкій промисловості невеликі типові деталі та вироби (фурнітура, гудзики, застібки) [2] виготовляються механічною обробкою або литтям [3]. Ці деталі потребують проведення подальших фінішних галтувальних технологічних операцій, яка часто виконується ручним способом або засобами малої механізації. Галтувальні барабани з обертовим рухом робочої ємкості [4], а також вібраційні машини [5], які застосовуються для всіх вище згаданих операцій здебільшого мають низьку продуктивність. З поміж різних типів галтувального обладнання, яке широко використовується у різних галузях промисловості України найбільш перспективним вважаються машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [6].

Однак, на сьогоднішній день, даний тип обладнання не має широкого використання у промисловості України. Зокрема, це пов'язано із відсутністю загальнодоступних комплексних підходів щодо дослідження його конструктивних, технологічних та енергетичних особливостей. Таким чином, проведення аналітичних та експериментальних досліджень конструктивних, технологічних та енергетичних параметрів такого обладнання є актуальною задачею для подальшого розвитку різних галузей промисловості України.

Аналіз досліджень та публікацій. З точки зору дослідження енергетичних параметрів галтувальних машин відомий ряд наукових робіт. Зокрема, у роботі [7] проведені дослідження потужності, яка споживається на ведучому валу машин з обертовим рухом барабанів, в залежності від ступеня заповнення самого барабану сипким середовищем. У роботі [8] представлено методику розрахувати

потужності відцентрових машин. У статті [9] авторами виконані дослідження статичного моменту опору на ведучому валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, який створений масою рухомих ланок машини. Було визначено, що в положеннях машини, коли її робоча ємкість проектується на вертикальну площину в натуральну величину, на ведучому валу виникатимуть максимальні значення статичного моменту опору.

Виділення невирішених частин. Для можливості отримання загального універсального закону, який би описував зміну моменту опору на ведучому валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, необхідно врахувати усі статичні та динамічні сили, що діють на рухомі ланки машини, які виконують складний просторовий рух та сили, діючі на сипке середовище. У роботі [9] було досліджено лише статичну складову моменту опору ведучого валу, що створена силою тяжіння, яка діє на рухомі ланки машини. Решта робіт присвячені дослідженням енергетичних параметрів у інших типах обладнання та не можуть бути застосовані до галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

Формулювання цілей. Метою даної роботи є визначення статичного моменту опору на ведучому валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, який створений масою сипкого середовища, завантаженого до ємкості.

Виклад основного матеріалу. Дослідження статичного моменту опору на ведучому валу виконувалися частково із використанням експериментального стенду «базової» конструкції машини [10] зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» [11]. Модель «базової» конструкції машини представлена на рис. 1 (а), її кінематична схема – на рис. 2 (б), а фото експериментального стенду – на рис. 3 (в).

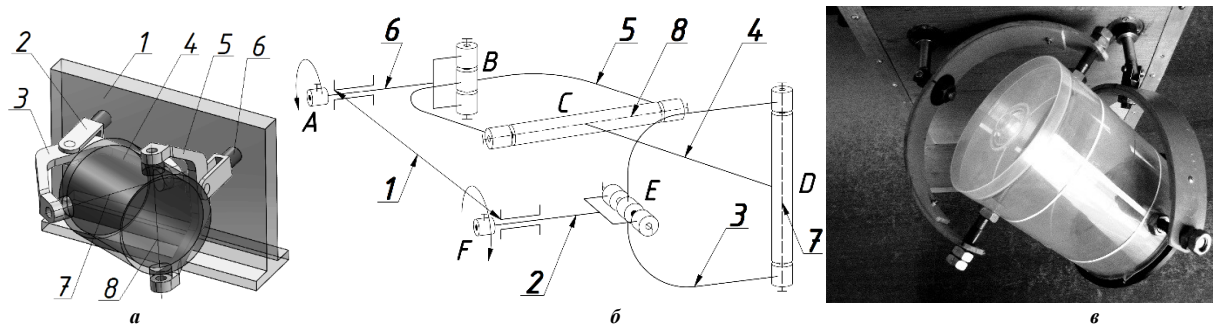


Рис. 1. «Базова» конструкція машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості: а – модель машини, б – кінематична схема, в – фото експериментального стенду

Машина складається зі станини 1, ведучого 2 та веденого 6 валів, котрі встановлені у станині 1 паралельно в одній площині та з'єднані між собою подвійним просторовим шарніром, що виконаний у вигляді ведучого шатуна 3, веденого шатуна 5 та робочої ємкості 4 (проміжного шатуна), закріпленої між ведучим та веденим шатунами на діаметрально взаємно перпендикулярних геометричних осях 7 та 8 відповідно. Рухомі ланки машини утворюють собою просторовий шестиланковий механізм [12] з обертальними кінематичними парами [13].

Одним з основних факторів, які впливають на створення моменту опору на ведучому валу, є маса завантаженого до робочої ємкості сипкого середовища. Статичний момент опору на ведучому валу машини з урахуванням маси сипкого середовища визначатимемо за принципом, аналогічним до того, що представлений у роботі [9], як суму моментів сил тяжіння створених масою сипкого середовища відносно відповідного центру рівноваги машини. Також слід зазначити, що не лише маса сипкого середовища впливатиме на значення моменту опору ведучого валу, а ще й об'єм ємкості, який заповнений ним, що проявлятиметься у відносному переміщенні сипкого середовища відносно стінок ємкості. Наприклад, при 90-100% заповненні робочої ємкості, переміщення сипкого середовища відносно її стінок буде практично відсутнім, таким чином, масу сипкого середовища можна додати до сумарної маси рухомих ланок машини. Таку загальну масу можна умовно розділити між визначеними у роботі [9] точками рівноваги.

Інша ситуація виникатиме у випадку неповного заповнення робочої ємкості, коли сипке середовище здатне переміщатися на значну відстань відносно її стінок. Відомо [14–16], що раціональний рівень заповнення робочої ємкості такої машини, повинен становити приблизно 50% від загального її об'єму. Таким чином, досліджували момент опору на ведучому валу машини при 50% рівні її заповнення, визначали при яких кутах повороту ведучого валу виникатиме максимальний момент опору під впливом сили тяжіння, яка діє на сипке середовище.

Для визначення такого кута повороту робочу ємкість експериментального стенду заповнювали сипким матеріалом на 50%, надавали обертального руху ведучому валу при низькій кутовій швидкості (≈ 1 об/хв) та паралельно спостерігали за переміщенням сипкого середовища крізь прозорі стінки ємкості відносно встановлених [9] центрів рівноваги машини O' та Q' . На рис. 2 представлено положення рухомих ланок машини, а також відповідне розташування сипкого середовища відносно стінок робочої ємкості та центрів рівноваги з кроком в 30° повороту ведучого валу та для кутів повороту ведучого валу в 54° та 126° з відображенням у вертикальній площині (вид спереду).

На рис. 2 горизонтальна лінія відображає відстань між осями обертання ведучого та веденого валів O та Q відповідно. Через відповідний центр рівноваги машини O' чи Q' проведено вертикальні лінії. Маса частини сипкого середовища, яка знаходиться ліворуч від вертикальної лінії, що проходить через центр рівноваги O' або праворуч від лінії, що проходить через центр рівноваги Q' буде створювати допоміжний момент сили тяжіння, а маса частини сипкого середовища, який знаходиться праворуч від вертикальної лінії, що проходить через центр рівноваги O' або ліворуч від лінії, що проходить через центр рівноваги Q' – момент опору.

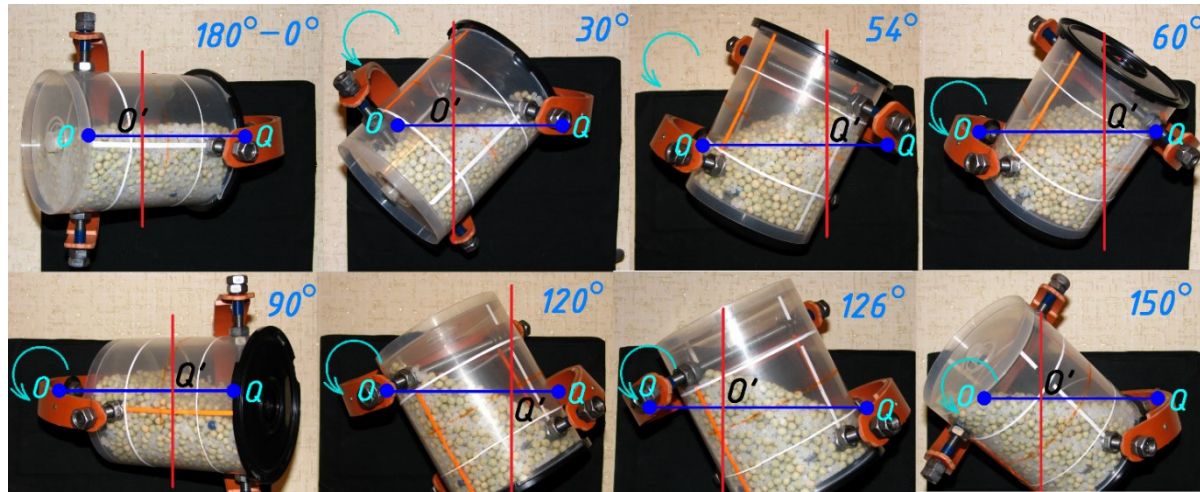


Рис. 2. Розташування сипкого середовища відносно стінок робочої ємкості та центрів рівноваги

Проаналізувавши представлені фрагменти роботи машини з точки зору утворення максимального моменту опору на ведучому валу, можна стверджувати, що такими будуть положення, котрі відповідають куту повороту ведучого валу в 54° та 126° . Саме при таких положеннях рухомих ланок машини значно більша частина сипкого середовища буде розташована в тій частині робочої ємкості, де сила тяжіння від його маси впливатиме на створення моменту опору. Крім того, такі положення ємкості, з точки зору створення максимального статичного моменту опору на ведучому валу, співпадають з положеннями, визначеними у роботі [9].

Вважатимемо, що в сипкому середовищі практично відсутні сили зчеплення між окремими частинками, коефіцієнт внутрішнього тертя зведений до мінімуму, частинки мають однакові гранулометричні властивості.

Якщо розглянути циліндричну ємкість, що знаходиться у вертикальному положенні та заповнена на 50%, то сипке середовище прийматиме форму, обмежену внутрішньою циліндричною поверхнею ємкості, її нижнім торцем, а також вільним граничним шаром сипкого середовища, яке у знерухоженому стані завжди буде приймати вигляд наближений до горизонтальної площини. У проекції на вертикальну площину сипке середовище утворює прямокутну площину (рис. 3 (а)). Під час подальшого переміщення ємкості при низькій кутовій швидкості ведучого валу сипке середовище, як єдине ціле, постійно змінюватиме свою стереометричну форму, однак, при будь-якому положенні ємкості його верхній граничний шар утворюватиме площину наближену до горизонтальної. Таким чином, при положенні робочої ємкості, яке відповідає куту повороту ведучого валу в 54° чи 126° , сипке середовище прийматиме форму циліндра з нахиленою верхньою основою, а при проектуванні на вертикальну площину утворюватиметься прямокутна трапеція $ABCD$ (рис. 3 (б)).

Було умовно розподілено сипке середовище на дві "частини" відносно вертикальної площини, що проходить через центр рівноваги Q' . У результаті чого значно "більша частина" сипкого середовища $Q'BCDJ$, в якій сконцентрована майже вся його маса, котра знаходиться праворуч від вертикальної площини, під дією сили тяжіння створює момент опору на ведучому валу машини. "Менша частина" сипкого середовища $AQ'J$, також викликати збільшення моменту опору за рахунок того, що безпосередньо контактує з "більшою частиною" сипкого середовища та створює на нього тиск від своєї маси. Тому для ємкості, яка завантажена на 50%, в незалежності від розподілу мас сипкого середовища між більшою та меншою "частинами", вважатимемо, що на створення максимального моменту опору на ведучому валу впливає уся маса сипкого середовища.

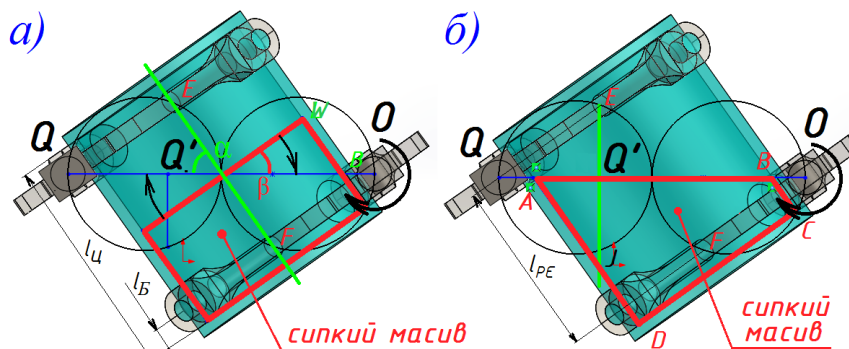


Рис. 3. Форма сипкого середовища у проекції на вертикальну площину: а – коли робоча ємкість займає вертикальне положення, б – при нахиленому положенні ємкості, що відповідає куту повороту ведучого валу в 54° чи 126°

Вираз для визначення сили тяжіння, що діє на сипке середовище, матиме вигляд:

$$\bar{G}_m = m_c \bar{g}, \quad (1)$$

де m_c – сумарна маса сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості, [кг].

Для визначення статичного моменту опору необхідно також враховувати параметр l_b (рис. 3 (а)), який може мати відмінне значення при різних геометричних параметрах робочих ємкостей. Вираз, що характеризує відношення довжини l_b до міжосьової відстані робочої ємкості l_{pc} буде мати вигляд:

$$z = \frac{l_b}{l_{pc}}. \quad (2)$$

Варто зазначити, що співвідношення геометричних параметрів z , яке характерне для 3D моделі робочої ємкості, що досліджується становитиме $z \approx 0,13$. Таке значення z обумовлено конструктивними особливостями машини. Для того, щоб визначити точку прикладання вектора сили тяжіння до "більшої частини" сипкого середовища, необхідно встановити положення її центру мас. Знайдемо його за допомогою САПР SolidWorks, при цьому вважали, що сипке середовище, яке утворило форму циліндру з нахилоною верхньою основою, є суцільним твердим тілом з однаковою густиною по всьому об'єму. Таким чином, у SolidWorks було змодельоване сипке середовище у вигляді єдиного суцільного твердого тіла відповідної маси та розділено його об'єм на відповідні умовні дві "частини".

Для побудови твердого тіла в SolidWorks задавалися його наступними геометричними параметрами: діаметр внутрішнього торця ємкості, а також довжини l_{bc} та l_{ad} , які можна визначити з наступних виразів:

$$l_{bc} = 0,5l_{ц} - l_{wb}. \quad (3)$$

$$l_{ad} = 0,5l_{ц} + l_{wb}, \quad (4)$$

де $l_{ц}$ – довжина внутрішньої стінки робочої ємкості; l_{wb} – відстань між верхнім шаром сипкого середовища, коли ємкість розташована вертикально та верхнім шаром сипкого середовища, утвореного положенням робочої ємкості, яка нахилена під відповідним кутом. У свою чергу, l_{wb} можна визначити так:

$$l_{wb} = r \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (5)$$

де r – радіус внутрішнього торця робочої ємкості; Кут β визначається як:

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 55^\circ = 35^\circ, \quad (6)$$

де α – кут нахилу осі робочої ємкості до горизонтальної площини. При такому положенні робочої ємкості кут α має найбільше своє значення $\alpha \approx 55^\circ$ та буде однаковим для будь-якого типорозміру машини, для якого виконуються умови, які попередньо були отримані у роботах [1, 17]. Далі підставимо значення β у вираз (5):

$$l_{wb} = r \cdot \operatorname{tg} 35^\circ. \quad (7)$$

Запишемо вирази (3) та (4) з урахуванням (7):

$$l_{bc} = 0,5l_{ц} - r \cdot \operatorname{tg} 35^\circ. \quad (8)$$

$$l_{ad} = 0,5l_{ц} + r \cdot \operatorname{tg} 35^\circ. \quad (9)$$

Таким чином, за попередньо встановленими геометричними параметрами, за допомогою САПР SolidWorks, було виконано 3D моделювання сипкого середовища з подальшим визначенням місця розташування центру мас ЦМ його більшої частини. Місце розташування центру мас ЦМ сипкого середовища на вертикальній проекції машини представлено на рис. 4.

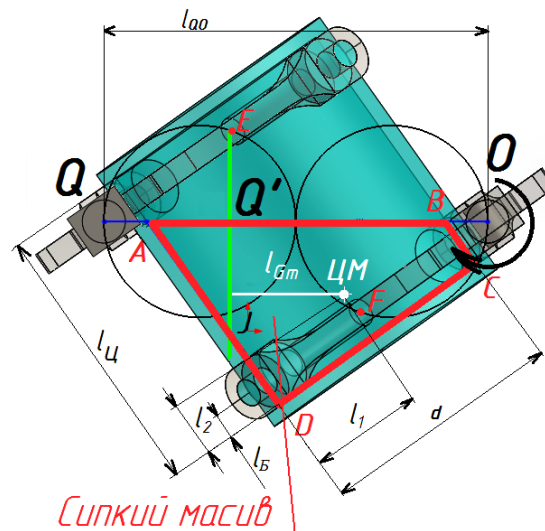


Рис. 4. Схема для визначення місця розташування центру мас сипкого середовища

Для робочої ємкості з відповідними геометричними параметрами, що представлена на рис. 4 координати l_1 та l_2 , а також плече сили тяжіння l_{Gm} можна визначити як:

$$l_1 = 0,47d. \quad (10)$$

$$l_2 = 0,23l_{\text{ц}}. \quad (11)$$

$$l_{Gm} = 0,26l_{QO} = \sigma_{50\%}l_{QO}. \quad (12)$$

Коефіцієнт пропорційності лінійних розмірів $l_{Gm}/l_{QO}=0,26$ позначали як $\sigma_{50\%}$, він відповідав робочій ємкості зі співвідношенням геометричних параметрів $z \approx 0,13$ у випадку її 50% заповнення. У випадку коли значення z буде відмінним від 0,13, коефіцієнт $\sigma_{50\%}$ слід визначати наступним чином:

$$\sigma_{50\%} = \frac{0,26z}{0,13} = 2z. \quad (13)$$

Запишемо вираз (12) з урахуванням рівняння (13):

$$l_{Gm} = 2zl_{QO}. \quad (14)$$

Крім того, на основі проведеного 3D моделювання в SolidWorks моделей сипкого середовища, було встановлено, що місце розташування його центру мас, при варіюванні значень відношення діаметру робочої ємкості до її довжини в діапазоні $d/l_{\text{ц}} = [0,5 - 0,9]$, не буде зміщатися в радіальному напрямі робочої ємкості та зазнаватиме незначного зміщення в осьовому напрямі ємкості, яким можна знехтувати. Величина зміщення центру мас ЦМ в осьовому напрямі робочої ємкості, що відповідає діапазону $d/l_{\text{ц}} = [0,5 - 0,9]$ становитиме $e \approx 0,055l_{\text{ц}}$. А отже, зміну довжини плеча сили тяжіння можна не приймати до уваги при варіюванні значень відношення діаметру робочої ємкості до її довжини у встановленому діапазоні.

Запишемо вираз для визначення максимального моменту опору, створеного силою тяжіння, що діє на сипке середовище відносно центру рівноваги машини при відповідному положенні робочої ємкості (для кутів повороту ведучого валу в 54° та 126°):

$$M_{\text{опГм}} = G_m l_{Gm}. \quad (15)$$

Підставимо у рівняння (15) значення виразів (1) та (14):

$$M_{\text{опГм}} = 2zm_c g l_{QO}. \quad (16)$$

Таким чином, отримали вираз (16), застосування якого дає можливість розрахувати максимальне значення статичного моменту опору на ведучому валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», який утворюється масою сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості, при заповненні її на 50% від загального об'єму.

Висновки

1. Виконані дослідження статичного моменту опору на ведучому валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, який створений силою тяжіння, що діє на сипке середовище, завантажено до робочої ємкості.

2. Експериментально встановлено положення рухомих ланок машини, що відповідає виникненню максимального статичного моменту опору на ведучому валу.

3. На основі аналітичних досліджень отримані математичні залежності, що дають можливість розрахувати максимальне значення статичного моменту опору на ведучому валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», який утворюється масою сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості, при заповненні її на 50% від загального об'єму.

Література

1. Залюбовський М.Г. Машины зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей : монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев. – К. : Університет «Україна», 2018. – 228 с.
2. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / О.П. Бурмістенков, Б.М. Злотенко, В.П. Коновал, І.В. Панасюк, М.Є. Скиба, О.М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.
3. Копин В.А. Обработка изделий из пластмасс / Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. – М. : Химия, 1988. – 176 с.
4. Першин, В.Ф. Машины барабанного типа: основы теории, расчета и конструирования / В.Ф. Першин. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1990. – 168 с.
5. Шумакова Т.А. Инструмент для виброабразивной обработки деталей : монографія / Т.А. Шумакова, В.И. Шаповалов, Ю.И. Гутько ; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. – Луганск : Ноулідж, 2011. – 59 с.
6. Панасюк І.В. Визначення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 5. – С. 40–46.
7. Модестов В.Б. Определение мощности смесителя, необходимой при смешивании сыпучих материалов / В.Б. Модестов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 3. – С. 7–8.
8. Модестов В.Б. Смесители сыпучих и пастообразных материалов : монографія / В. Б. Модестов ; МОНМС України, Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, Технол. ин-т. – Луганск, 2011. – 353 с.
9. Залюбовський М.Г. Дослідження статичного моменту опору ведучого валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості / М.Г. Залюбовський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 1 (293). – С. 86–92.
10. Панасюк І.В. Визначення деяких конструктивних параметрів змішувачів з тривимірним обертанням барабану / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2013. – № 5. – С. 76–81.
11. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2021. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (access date: 05.03.2021).
12. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54–64.
13. Zaliubovskyi M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M.G. Zaliubovskyi, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69–75.
14. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of TurbulaMixer Motion using Positron Emission Particle Tracking / Marigo M., Cairns D. L., Davies M., Cook M., Ingram A., Stitt E. H. // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences – 2010. – No. 3 (Vol. 59), 217–238.
15. Коротич В.И. Анализ движения сыпучего материала во вращающемся цилиндрическом барабане / В.И. Коротич // Горный журн., 1964. – № 12. – С. 134–141.
16. Zalyubovskyi M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskyi M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24–32.
17. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 3. – P. 260–264.

References

1. Zaliubovskyi M.H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei : monohrafiia / M.H. Zaliubovskyi, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev. – K. : Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.
2. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vztutievii ta shkirhalantereyinii promyslovosti : monohrafiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.
3. Kopin V.A. Obrabotka izdeliy iz plastmass / Kopin V.A., Makarov V.L., Rostovtsev A.M. – M. : Himiya, 1988. – 176 s.
4. Pershin, V.F. Mashyny barabannogo tipa: osnovyi teorii, rascheta i konstruirovaniya / V.F. Pershin. – Voronej : Izd-vo VGU, 1990. – 168 s.
5. SHumakova T.A. Instrument dlya vibroabrazivnoy obrabotki detaley : monografiya / T.A. SHumakova, V.I. SHapovalov, YU.I. Gutko ; Vostochnoukr. nats. un-t im. V. Dallya. – Lugansk : Noulidj, 2011. – 59 s.
6. Panasiuk I.V. Vyznachennia zakonu zminy kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei zi skladnym rukhom robochoi yemkosti / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskyi // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2015. – № 5. – S. 40–46.
7. Modestov V.B. Opredelenie moshchnosti smesitelya, neobkhdimoy pri smeshivanii sypuchikh materialov / V.B. Modestov // Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2003. – № 3. – S. 7–8.

8. Modestov V.B. Smesiteli sypuchikh i pastoobraznykh materialov : monografiya / V. B. Modestov ; MONMS Ukrainy, Vostochnoukr. nac. un-t im. V. Dalya, Tekhnol. in-t. – Lugansk, 2011. – 353 c.
9. Zaliubovskiy M.H. Doslidzhennia statychnoho momentu oporu veduchoho valu haltuvalnoi mashyny zi skladnym prostorovym rukhom robochoi yemkosti / M.H. Zaliubovskiy // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2021. – № 1 (293). – S. 86–92.
10. Panasiuk I.V. Vyznachennia deiakyykh konstruktyvnykh parametriv zmishuvachiv z tryvymirnym obertanniam barabanu / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2013. – № 5. – S. 76–81.
11. Willy A. Bachofen (WAB): sait Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2021. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (access date: 05.03.2021).
12. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54–64.
13. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M.G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69–75.
14. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbulent Motion using Positron Emission Particle Tracking / Marigo M., Cairns D. L., Davies M., Cook M., Ingram A., Stitt E. H. // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences – 2010. – No. 3 (Vol. 59), 217–238.
15. Korotich V.I. Analiz dvizheniya sypuchego materiala vo vrashchayushchemsya cilindricheskom barabane / V.I. Korotich // Gornyj zhurn., 1964. – № 12. – S. 134–141.
16. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24–32.
17. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 3. – P. 260–264.

Надійшла/Paper received : 25.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

ДІАГНОСТИКА І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

У статті розглянуті питання поточного стану системи технічного та технологічного обслуговування і ремонту сільськогосподарських машин, показаний аналіз існуючої системи і її вплив на економічну ефективність виробництва в агропромисловому комплексі.

Ключові слова: сільськогосподарські машини, діагностика, технологічне обслуговування.

О.О. YALYNA

Vinnytsia National Agrarian University

DIAGNOSTICS AND TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF AGRICULTURAL MACHINES USED IN AGRICULTURAL COMPLEX

The article considers the current state of the system of maintenance and repair of agricultural machinery, shows the analysis of the existing system and its impact on the economic efficiency of production in the agro-industrial complex.

The current state of instrumentation, electronics and computer technology can significantly increase and expand the possibilities of both diagnosing and forecasting based on it. The combination of these capabilities with the progress of agricultural machinery ensures its reliable, highly productive and economical operation. It is established that of great importance in the production of crop and livestock products is the qualified use of agricultural machinery, including its diagnosis, maintenance and technological maintenance and repair. The quantity and quality of the received production, its competitiveness, labor costs, fuel consumption and degree of influence on environment depend on quality and timeliness of carrying out service - diagnostics at technical and technological service. Improving the use of agricultural machinery and reducing the cost of its operation provides the use of technical diagnostics of machines as an information basis for the management of maintenance and repair processes. The practice of using diagnostic tools indicates the possibility of reducing operating costs. This is achieved by increasing the actual resource used, reducing the number of repairs and saving spare parts. To effectively apply existing diagnostics and development of new, engineering and technical workers of agricultural enterprises must have knowledge that reveals the fundamental side of the diagnosis. Measures of preventive influences which provide maintenance of necessary indicators of reliability and working capacity of cars during time of use are executed on a scientific basis, practical use and research of processes of wear and other deviations of details are developed.

Key words: agricultural machines, diagnostics, technological service.

Вступ

У підвищенні ефективності використання сільськогосподарської техніки велике значення має вдосконалення планування і управління її технічним обслуговуванням та ремонтом на базі сучасних технічних засобів.

Впровадження інноваційних технологій виробництва продукції рослинництва і тваринництва потребує вдосконалення сервісу використовуваної при цьому сільськогосподарської техніки. Велике значення при виробництві продукції рослинництва і тваринництва має кваліфіковане використання сільськогосподарської техніки, в тому числі її діагностика, технічне і технологічне обслуговування та ремонт. Від якості та своєчасності проведення сервісу - діагностики при технічному і технологічному обслуговуванні – залежать кількість і якість одержуваної продукції, її конкурентоспроможність, витрати праці, витрата палива і ступінь впливу на навколишнє середовище. Поліпшення використання сільськогосподарської техніки і зниження витрат на її експлуатацію забезпечує застосування технічного діагностування машин як інформаційної основи системи управління процесами технічного обслуговування і ремонту. Практика використання засобів діагностування свідчить про можливість скорочення експлуатаційних витрат. Це досягається за рахунок збільшення фактично використовуваного ресурсу, скорочення числа ремонтів і економії витрати запасних частин [1, 2].

Як відомо, найбільш важливим показником надійності є відсутність відмов під час функціонування (роботи) технічної системи. Технічна діагностика завдяки ранньому виявленню дефектів і несправностей дозволяє усунути подібні відмови в процесі технічного обслуговування, що підвищує надійність і ефективність експлуатації.

Сучасний стан приладобудування, електроніки і обчислювальної техніки дозволяє значно збільшити та розширити можливості як самого діагностування, так і прогнозування на його основі. Поєднання цих можливостей з прогресом сільськогосподарської техніки забезпечує її надійну високопродуктивну і економічну роботу.

Для того щоб ефективно застосовувати існуючу діагностичну техніку і освоювати нову, інженерно-технічні працівники сільськогосподарських підприємств повинні володіти знаннями, що розкривають принципову сторону діагностування.

Мета і задачі роботи

До зниження якості польових робіт і продуктивності агрегатів призводить не тільки використання

ще не настрояних машин, але і робота їх з несправними робочими органами та механізмами. Так, наприклад, при затупленні робочих органів плуга, культиваторів та культиваторів-плоскорізів витрата палива через підвищення їх тягового опору збільшується на 15...20%. При куті заточування лап культиваторів $+25...+30^\circ$ замість 10° , збільшується нерівномірність обробки ґрунту по глибині, тим самим недостатньо підрізають бур'яни, що призводить до погектарної перевитрати палива на 5...8% і більше на одиницю продукції. Встановлено, що зниження тиску в шинах ведучих коліс трактора МТЗ-80 при посіві зернових культур з 0,13 до 0,09 МПа дозволило знизити буксування в середньому з 20 до 14% і погектарну витрату палива на 7%, при цьому також зменшилася глибина колії, а отже і ущільнення ґрунту [3]. Низька якість оранки призводить до зниження продуктивності зернозбиральних комбайнів на 40%, збільшення втрат зерна в 2...3 рази і перевитрати палива на 30%. При роботі справних і правильно налаштованих машин за допомогою пристосувань, регулювальних і діагностичних майданчиків продуктивність підвищується до 12%, витрата палива знижується до 8%.

Перевірці, регулюванню, діагностиці та налаштуванню на задані режими роботи повинні піддаватися всі сільськогосподарські машини – нові, відремонтовані і справні без ремонту. Основними документами, що регламентують проведення перевірки, регулювання і налаштування сільськогосподарських машин та знарядь є «Інструкції по експлуатації заводів-виробників, ГОСТ 20793-86, технічні умови на окремі машини». При цьому критерієм оцінки якості діагностики, регулювання і настройки сільськогосподарських машин є дотримання агротехнічних вимог, виконуваних технологічних процесів.

Розробка заходів профілактичних впливів, які забезпечують підтримку необхідних показників надійності і працездатності машин протягом часу використання виконана на науковій основі, практичного використання та дослідження процесів зношування та інших відхилень деталей (вигин, відрив зварювання і так далі) та відхилень від нормального стану, виявлення закономірностей зміни вихідних техніко-економічних показників машин в цілому по мірі їх використання.

Визначення закономірностей зносу прецизійних пар тертя ведеться в основному за законом класичної кривої зносу. Разом з тим багато з'єднань мають інші характеристики процесу зносу, наприклад, поршень-циліндр, ущільнення – диск сівалки, лапа культиватора – ґрунт, молотильний барабан – дека, ніж – протирижучі пластини в подрібнювачах кормів та інші зношуються з відхиленнями за значенням параметрів стану від прямої природного зносу (рисунк 1).

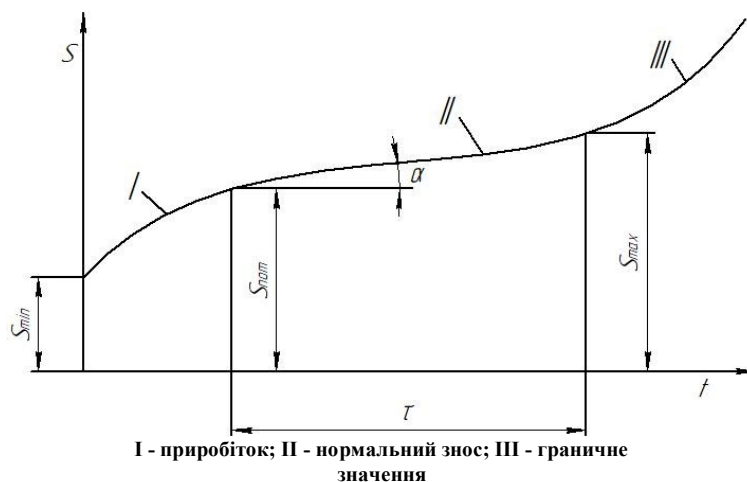


Рис. 1. Крива зносу прецизійних пар

Наприклад, головною причиною втрати працездатності ущільнень (сальників), є не форсований знос в кінці терміну служби, а втрата ущільнення пружних властивостей через перегрів еластичного матеріалу, що відбуваються при незадовільному змащуванні зони контакту ущільнення з валом. Різні типи ґрунтів, їх вологість, щільність і твердість по різному впливають на знос. Подрібнюючі апарати по різному зношуються при контакті з різними коренебур'яками, по кислотності, забрудненості, щільності та періодичності роботи.

Застосування при дослідженні зносу дискретних процесів для оцінки зношування складових частин машин, робочих органів, вузлів і механізмів, є однією з головних причин виникнення суперечностей і недостатньої гнучкості планово-попереджувальної системи, їх технічного та технологічного обслуговування і ремонту, які не реагують на інтенсивність процесів зносу стосовно до умов використання (наприклад, з'явилися нові матеріали: термопласти, гума, хімічні наноматеріали).

Система технічного та технологічного обслуговування і ремонту машин та агрегатів повинна враховувати стохастичність процесів зношування машин і передбачати скорочення числа операцій при обслуговуванні та ремонті, не допускаючи їх виконання, коли це не потрібно (за рахунок застосування технічної діагностики), забезпечувати зниження трудомісткості виконання операцій за рахунок їх механізації і застосування безрозбірних методів (видалення накипу і нагару, застосування ефективних очищувальних засобів). Тому технічний сервіс повинен передбачати режими (періоди) обслуговування в

залежності від характеру зміни стану елементів машин і виникнення у них потреб у технічному та технологічному обслуговуванні, технічній діагностиці та ремонті.

Технічний сервіс машин в АПК проводять дилерські пункти, фірмові станції технічного обслуговування, машинно-технологічні станції (МТС), спеціалізовані ремонтні підприємства, постачальницькі організації. При раціональній організації технічного сервісу, що включає всі види технічного і технологічного обслуговування з використанням діагностики та ремонту, на 8...12% скорочується час на технологічне і технічне обслуговування та ремонт, на 20...28% збільшується напрацювання на трактор і на 34...46% підвищується його продуктивність [4].

Діагностування – це визначення технічного стану машин, механізмів і їх вузлів, використовуваних при виробництві продукції рослинництва та тваринництва без розбирання. Метою діагностування при проведенні технічного і технологічного обслуговування є:

- визначення дійсної потреби в роботах з технічного і технологічного обслуговування та ремонту шляхом зіставлення фактичних значень параметрів з гранично допустимими;
- оцінка якості виконаних робіт з технічного і технологічного обслуговування агрегатів, вузлів та механізмів.

Метою діагностування при ремонті є:

- виявлення причин несправності або відмови в роботі агрегатів та вузлів машин, які використовуються в АПК;
- встановлення найбільш ефективного способу усунення несправностей (на місці виконання технологічних процесів, зі зняттям вузла або агрегату, з повним або частковим розбиранням);
- контроль якості виконаних робіт.

Технічне діагностування має великий вплив на інтенсивність використання техніки через коефіцієнт її готовності. Попередження відмов та оперативне їх усунення призводить до скорочення часу простоїв машин з технічних причин, збільшення їх продуктивності, підвищення якості виконання сільськогосподарських операцій, зниження термінів виконання робіт, шкідливого впливу на навколишнє середовище, сприяє отриманню додаткового прибутку сільськогосподарських товаровиробників.

В даний час, крім виконання традиційних робіт (технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, зберігання машин) діагностування знаходить застосування при дозбиранні машин в процесі передпродажного обслуговування, сертифікації сервісних робіт, техогляді, оцінці вартості при придбанні та продажу старих машин і агрегатів, при технологічному обслуговуванні (регулювання і налаштування сільськогосподарських машин та агрегатів на задані режими роботи і визначення їх справності).

Технічне діагностування дозволяє повніше використовувати міжремонтний ресурс агрегатів, вузлів і машин, усунути необґрунтоване передчасне розбирання механізмів машин, що порушує умови роботи, і тим самим знизити швидкість зношування тертьових з'єднань, різко скоротити простої сільськогосподарських машин і агрегатів через технічні несправності шляхом прогнозування і попередження відмов, знизити трудомісткість технічного обслуговування і усунення наслідків відмов за рахунок скорочення обсягів ремонту виконаних робіт, підвищити потужність і економічність роботи агрегатів за рахунок своєчасного і якісного виконання регулювань, налаштувань та інших профілактичних операцій.

При технічному діагностуванні розрізняють структурні (прямі) і функціональні (непрямі) параметри технічного стану машин. Структурні безпосередньо обумовлюють рівень їх технічного стану (значення зносу, розміри деталей, натяг в причепних парах та інші), функціональні – побічно характеризують значення структурних параметрів машини (потужність двигуна, витрату палива і мастила, температуру, шум, вібрацію, ступінь герметичності та інші).

Уявлення про технічний стан машини визначають на основі інформації, отриманої за допомогою засобів: різних приладів, стендів та устаткування. До останньої інформації відноситься отримана візуально – нещільності, підтікання, зміщення, взаємні переміщення і вібрації деталей, тріщини видимих поверхонь, ослаблення кріплень і так далі; на слух – сприймаються виникаючі при роботі машини шуми, стуки (газорозподільчий механізм, підшипники колінчастого вала, ланцюгова та карданна передачі та інші; за запахом (нюхом) – тління або горіння в окремих зонах, випаровування або відхилення від норми в процесах горіння чи нагріву; на дотик – зони нагріву працюючої машини. Недолік інформації, отриманий перерахованими способами, є суб'єктивним, як правило в даному випадку несправність, виявляється на стадії розвитку передаварійного випадку.

В даний час розроблено і використовується при технічній діагностиці безліч приладів, пристроїв та обладнання [4]. Більшість розроблених засобів (понад 75 найменувань) використовується для діагностики трактора і автомобіля бензинового і дизельного двигуна: система живлення, кривошипно-шатунний механізм, механізм газорозподілу, система очищення і подачі повітря, система змащування, система охолодження, електрообладнання, трансмісія, гальмівна система, рульове управління, гідросистема, колеса і шини, а для машин, використовуваних у рослинництві і тваринництві – ремінні, ланцюгові і карданні передачі, зірочки, підшипники, вали, осі, пружини, варіатори, шнек, редуктори коробок передач, транспортери та транспортні елеватори, вентилятор і так далі – більше 40 найменувань.

Висновок

Для перевірки технічного стану машин, які використовуються в АПК розроблені: пристосування

для перевірки робочих органів зернових сівалок, розстановки сошників, виміру зусилля пружини, прокручування вала висівних апаратів, виміру вильоту катушок, перевірки розстановки лап причіпних і навісних культиваторів, динамометричні пристрій для перевірки запобіжних муфт, перевірки натягу ланцюгів і ременів, щуп універсальний. Крім того, для діагностики машин, використовуваних в АПК, можна застосовувати прилади, розроблені для автомобілів і тракторів для однойменних механізмів, вузлів і деталей.

Література

1. Малаков О.І. Функціональне моделювання процесу технологічної підготовки виробництва для проєктів створення нової техніки / О.І. Малаков, Н.Р. Веселовська // Матеріали Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Молода наука – роботизація і нано-технології сучасного машинобудування», 2019. – С. 19–23.
2. Капустин В.П. Технологическое обслуживание сельскохозяйственных машин и агрегатов как резерв повышения урожайности / В.П. Капустин // Матеріали 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Енергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике», 2010. – С. 266–271.
3. Капустин В.П. Сельскохозяйственные машины : учебное пособие / Капустин, В.П., Глазков Ю.Е. – М. : ИНФРА-М, 2015. – 280 с.
4. Варнаков В.В. Технический сервис машин сельскохозяйственного назначения / Варнаков В.В. – М. : КолосС, 2004. – 253 с.

References

1. Malakov O.I. Funktsionalne modelyuvannya protsesu tekhnolohichnoi pidhotovky vyrobnytstva dlia proektiv stvorennia novoi tekhniki / O.I. Malakov, N.R. Veselovska // Materialy Mizhnarodnoi molodizhnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Moloda nauka – robotyzatsiia i nano-tekhnohii suchasnoho mashynobuduvannia», 2019. – S. 19–23.
2. Kapustin V.P. Tehnologicheskoe obslujivanie selskohozyaystvennyih mashin i agregatov kak rezerv povysheniya uroжайnosti / V.P. Kapustin // Materialy 7-i Mijnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferentsii «Energoberegayushchie tehnologii v rastenievodstve i mobilnoy energetike», 2010. – S. 266–271.
3. Kapustin V.P. Selskohozyaystvennyie mashinyi : uchebnoe posobie / Kapustin, V.P., Glazkov YU.E. – M. : INFRA-M, 2015. – 280 s.
4. Varnakov V.V. Tehnicheskiy servis mashin selskohozyaystvennogo naznacheniya / Varnakov V.V. – M. : KolosS, 2004. – 253 s.

Надійшла/Paper received : 27.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРИВІД ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Впровадження та функціональне розширення гідроприводів, застосування гідросистем в якості відбору потужності, що забезпечують можливість незалежного приводу різних споживачів у широкому діапазоні навантаження. Флагмани іноземного сільськогосподарського, дорожнього, промислового машинобудування обладнують свої виробничі гідросистемами, потужність яких значно перевищує 70 кВт і цей показник продовжує зростати.

Ключові слова: гідропривід, універсалізація, регульований насос, гідромотор, реверс, робоче обладнання.

V. YANISHEVSKYY

Vinnitsia National Agrarian University

UNIVERSAL HYDRAULIC DRIVE FOR AGRICULTURAL TECHNOLOGY

The introduction and functional expansion of hydraulic drives expands the use of hydraulic systems as a power take-off, providing the possibility of independent drive of different consumers in a wide range of loads. The flagships of foreign agricultural, road, industrial engineering equip their products with hydraulic systems, the power of which significantly exceeds 70 kW and this figure continues to grow.

Due to the fact that the developers of mobile energy are in a rigid framework for size, fuel and other indicators, the creation of such equipment is through the introduction of universal hydraulic systems. Universalization of hydraulic systems to ensure the work of external consumers is one of the most important tasks in the development of hydraulic systems. But, despite more than age development and improvement of the hydraulic drive, scientific researches for the purpose of creation of universal and more economic models are actively conducted in different countries of the world. The big disadvantage of these designs is the inability to change the speed of the shaft of the hydraulic motor drive equipment, because this parameter depends on the wear of components and parts of the hydraulic drive, oil temperature. An important indicator of modern hydraulic drives is the introduction of adjustable pumps, which significantly expand the potential of the hydraulic drive by improving the technical and economic performance.

In this case, the drive of all equipment is provided by one pump. Such "centralized" systems operate from a single energy source and air conditioners. As a result the possibility of return rotation of the hydraulic motor, its braking, smooth change of frequency of rotation of a drive of the equipment of agricultural machines is provided. But, despite more than age development and improvement of the hydraulic drive, researches for the purpose of creation of universal and more economic models are actively conducted in different countries of the world.

Key words: hydraulic drive, universalization, adjustable pump, hydraulic motor, reverse, working equipment.

Вступ

Впровадження та функціональне розширення гідроприводів на автотракторній техніці тягне за собою збільшення їх питомої потужності [1]. Флагмани іноземної сільськогосподарської, дорожньої, промислової машинобудівної сфери обладнують свої виробничі гідросистемами, потужність яких значно перевищує 70 кВт [2, 3]. Актуалізація гідросистем для забезпечення роботи зовнішніх споживачів сільськогосподарських машин у великому діапазоні режимів – одне з головних завдань розвитку гідросистем.

У зв'язку з тим, що розробники мобільних енергозасобів знаходяться в жорстких рамках за масогабаритним, паливним та іншим показниками, створення такої техніки йде шляхом впровадження універсальних гідросистем [4, 5]. Такі "централізовані" системи працюють від єдиних джерел енергії та кондиціонерів [6, 7]. Важливим показником сучасних гідравлічних приводів є впровадження регулюючих насосів, які значно розширюють потенціал гідроприводу шляхом покращення техніко-економічних показників. У цьому випадку привід всього обладнання забезпечується одним насосом. При цьому під час зміни витрати робочої рідини об'ємні втрати тільки малі, що їх можна не враховувати [8].

Методика досліджень

Значна маса сільськогосподарських машин, обладнаних гідравлікою, володіють незалежними гідравлічними приводами центральних вузлів, ходової та робочої частин.

Великим мінусом цих конструкцій являється неможливість зміни частоти обертів валу гідромотора приводу робочого обладнання, так як цей параметр залежить від зносу вузлів і деталей гідроприводу, температури олії. Але джерела гідравлічної енергії можуть функціонувати при різній частоті обертання валу гідроприводу. Так, наприклад, робоче обладнання машин сільськогосподарського призначення працює при швидкості обертання валу насоса від 540 до 3000 і більше об/хв. Ще одним значним недоліком є неможливість реверсу і зупинки гідромоторів провідних коліс і обладнання трактора [9, 10].

Для збільшення робочих діапазонів гідравлічного приводу сільськогосподарських машин пропонується гідропривід, який включає в себе насос (працює від двигуна), гідромотор (приводить до обертання ходові колеса), гідромотор для робочих споживачів і регулятор частоти обертання гідромотора. У цій схемі задіяні регульований насос і клапан різності тисків з логічним елементом. На малюнку 1 наведено пристрій такого гідроприводу.

Джерело енергії 1 через регульований насос 2 з'єднано з гідромотором 3 гідролініями 4, 5 за

допомогою клапана різниці тисків 6, а також з гідромотором 7 через регулятор швидкості 8 і гідролінії 4, 5, 9. Обернено пропорційна від пружинної порожнини 10 клапана з'єднана з гідролініями 4 і 5 за допомогою логічного елемента 11. Пружинна частина 12 клапана контактує з гідролінією 9. Регулятор швидкості 9 включає в себе регульований дросель 13. Також схема включає в себе зворотні клапани 14, 15 і розподільник 16. Гідролінії 4 і 9 з'єднуються дроселем 17 і зворотним клапаном 18. Схема обладнана запобіжними клапанами 19, 20. Гідроциліндр 21 з розподільником 22 керують подачею регульованого насоса 2. Система живлення складається з насоса 23 і системи клапанів (переливного 24, зворотних 25, 26).

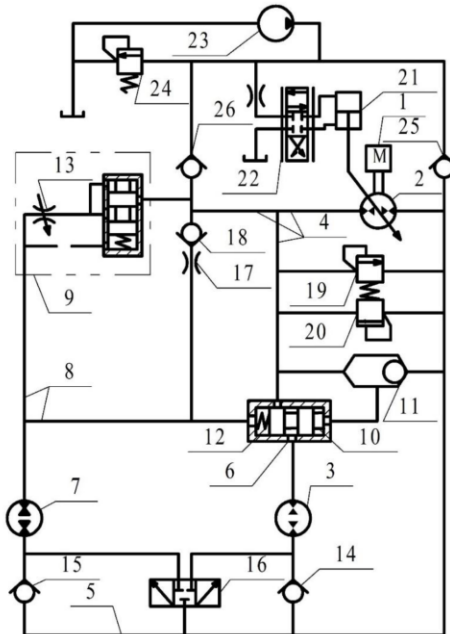


Рис. 1. Пристрій гідроприводу

вона може регулюватися дроселем за заданою програмою. Швидкість переміщення машини змінюється насосом. Зміна швидкості обертання валів гідромоторів відбувається зменшенням або збільшенням подачі насоса. З метою уповільнення гідромоторів подачу насоса зменшують. Через зниження витрати робочої рідини гідромотори 3 і 7 виконують функцію насосів і дають тиск у насос через гідролінію 5. Звернені клапани 14 і 15 не дають маслу потрапити в загальмований гідромотор при роботі другого, дозволяючи дотримуватися техніки безпеки.

На малюнку 2 представлені закони зміни частоти обертання валів гідромоторів n_{p0} і сільськогосподарської машини n_0 , n_1 і n_2 залежно від вибору кута регулювання. Припускаємо, що гранична частота обертання валів 3000 об/хв (транспортна швидкість сільськогосподарської машини – 15 км/год). Обсяг гідромотора робочого обладнання на 0,5 менший, ніж обсяг насоса. Обсяг гідромотора ходової та насоса однаковий.

Швидкість обертання валу гідромотора, що приводить в обертання ходові колеса, напряму пов'язана з кутом регулювання насоса і змінюється по лінії ОВ. Швидкість валу гідромотора робочого обладнання при цьому рівна нулю ($n_{p0} = 0$).

Шкала праворуч показує зв'язок швидкості обертання валу гідромотора ходових коліс залежно від поступальної швидкості машини. При $n_{p0} = 3000$ об/хв масло йде в гідромотор робочого обладнання (кут регулювання насоса – 15°). При $\alpha > 15^\circ$ олія йде на привід ходової. Зв'язок швидкості обертання гідромотора від кута регулювання насоса відображає лінія ED.

Висновки

Створення універсального гідроприводу в даний час неминучий та тягне за собою зміну комплексних, системних підходів при його розробці і модернізації. Це дозволить забезпечити високі технічні параметри машини та її необхідну конкурентоспроможність на світових ринках.

Таким чином, централізований пристрій гідроприводу з одним регульованим насосом робить схему універсальною завдяки плавній і безступінчастій зміні робочих режимів сільськогосподарської машини і його робочого обладнання, дозволяє здійснювати реверс і зупинку машини. При цьому покращуються

Результати досліджень та обговорення

Сільськогосподарська машина може працювати в трьох режимах:

- 1) переміщення машини (робоче обладнання не задіяне);
- 2) стаціонарне положення машини (робоче обладнання задіяне);
- 3) переміщення машини при роботі обладнання.

Вищевикладені режими роботи проаналізуємо в процесі тяги, гальмування гідроприводом і реверсу. У транспортному режимі роботи сільськогосподарської машини дросель закритий. Тиск робочої рідини з гідролінії 4 та логічного елемента впливає на порожнину 10 клапана. Відповідно золотник переміщується вліво. Олія прямує на гідромотор через клапан і гідролінію 4. Незначна частина олії з порожнини 10 йде в гідролінію 5 на всмоктування насоса.

Принцип дії гідроприводу полягає в наступному. Клапан знаходиться в закритому положенні, а регулятор швидкості – у відкритому. Робоча рідина йде в гідромотор 7. Як тільки гідромотор 7 виходить на свій номінал, масло через клапан йде у гідромотор 3. Тим самим швидкість обертання валу гідромотора 7 підтримується на постійному рівні. Також

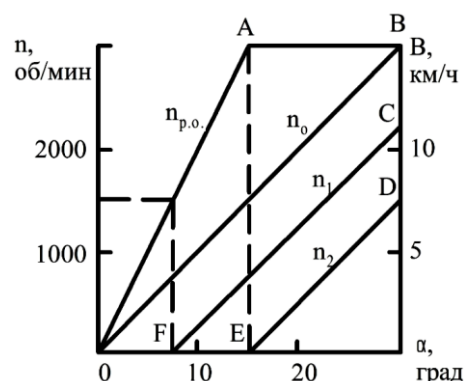


Рис. 2. Зміна швидкості обертів валів гідромоторів від кута регулювання насоса

економічні та енергетичні показники машини.

Література

1. Коробкин В.А. О перспективных направлениях создания гидравлических агрегатов приводов строительных и дорожных машин / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Наука и техника. – 2012. – № 6. – С. 71–76.
2. Королькевич А.В. Многофункциональный гидропривод мобильных машин / А.В. Королькевич, М.И. Жилевич // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2010. – № 6. – С. 58–61.
3. Несмиян А.Ю. Обеспеченность предприятий агропромышленного комплекса сельскохозяйственной техникой / А.Ю. Несмиян, В.В. Должиков // Совершенствование технических средств производства продукции растениеводства : межвузовский сборник научных трудов. – Зерноград, 2013. – С. 64–68.
4. Несмиян А.Ю. Сравнительные характеристики орудий для поверхностной обработки почвы / А.Ю. Несмиян, В.В. Должиков, С.А. Гладкий, М.Г. Кобец // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 3. – С. 23–25.
5. Жилевич М.И. Новые возможности экспериментальной доводки гидроприводов машин / М.И. Жилевич, А.В. Королькевич, В.С. Шевченко // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2011. – № 6. – С. 54–56.
6. Муздыбаев М.С. Обеспечение работоспособности гидромеханической трансмиссии транспортных машин / М.С. Муздыбаев, А.С. Муздыбаева, Д.М. Мырзабекова // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета. – 2018. – № 4. – С. 149–153.
7. Рылякин Е.Г. Влияние эксплуатационных факторов на изменение надежности гидроагрегатов мобильных машин / Е.Г. Рылякин, А.В. Курылев // Молодой ученый. – 2014. – № 4. – С. 247–249.
8. Попов В.Б. Математическое обеспечение для проектирования подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В.Б. Попов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – № 3 (27). – С. 67–71.
9. Бажутов Д.Н. Модернизация гидравлической системы навесного оборудования трактора / Д.Н. Бажутов, Г.А. Ленивец, О.С. Володько // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Механика и машиностроение. – 2011. – Т. 13. – № 4. – С. 955–956.
10. Волков В.Н. Особенности работы гидравлических систем лесозаготовительной техники в условиях эксплуатации при низких температурах / В.Н. Волков, В.А. Бурмистров, О.М. Тимохова // Технические науки. – 2014. – № 8. – С. 1283–1287.

References

1. Korobkin V.A. O perspektivnykh napravleniyakh sozdaniya gidravlicheskh agregatov privodov stroitelnykh i doroznykh mashin / V.A. Korobkin, A.YA. Kotlobay, V.F. Tamelo // Nauka i tehnika. – 2012. – № 6. – S. 71–76.
2. Korolkevich A.V. Mnogofunktsionalnyy gidroprivod mobilnykh mashin / A.V. Korolkevich, M.I. Jilevich // Vestnik Belorusskogo natsionalnogo tehnikeskogo universiteta. – 2010. – № 6. – S. 58–61.
3. Nesmiyan A.YU. Obespechennost predpriyatiy agropromyshlennogo kompleksa selskhozaystvennoy tekhnikoy / A.YU. Nesmiyan, V.V. Doljnikov // Sovershenstvovanie tehnikeskikh sredstv proizvodstva produktsii rastenievodstva : mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. – Zernograd, 2013. – S. 64–68.
4. Nesmiyan A.YU. Sravnitelnyye harakteristiki orudiy dlya poverhnostnoy obrabotkipochvy / A.YU. Nesmiyan, V.V. Doljnikov, S.A. Gladkiy, M.G. Kobets // Traktory i selhoz mashiny. – 2014. – № 3. – S. 23–25.
5. Jilevich M.I. Novyye vozmozhnosti eksperimentalnoy dovodki gidroprivodov mashin / M.I. Jilevich, A.V. Korolkevich, V.S. Shevchenko // Vestnik Belorusskogo natsionalnogo tehnikeskogo universiteta. – 2011. – № 6. – S. 54–56.
6. Muzdybaev M.S. Obespechenie rabotosposobnosti gidromekhanicheskoy transmissii transportnykh mashin / M.S. Muzdybaev, A.S. Muzdybaeva, D.M. Myrza-bekova // Vestnik Vostochno-Kazhastanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. – 2018. – № 4. – S. 149–153.
7. Ryilyakin E.G. Vliyanie ekspluatatsionnykh faktorov na izmenenie nadejnosti gidroagregatov mobilnykh mashin / E.G. Ryilyakin, A.V. Kuryilev // Molodoy uchenyy. – 2014. – № 4. – S. 247–249.
8. Popov V.B. Matematicheskoe obespechenie dlya proektirovaniya podyemno-navesnykh ustroystv mobilnykh energeticheskikh sredstv / V.B. Popov // Vestnik APK Verhnevoljya. – 2014. – № 3 (27). – S. 67–71.
9. Bajutov D.N. Modernizatsiya gidravlicheskoy sistemy navesnogo oborudovaniya traktora / D.N. Bajutov, G.A. Lenivtsev, O.S. Volodko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Mehanika i mashinostroenie. – 2011. – T. 13. – № 4. – S. 955–956.
10. Volkov V.N. Osobennosti raboty gidravlicheskh sistem lesozagotovitelnoy tekhniki v usloviyakh ekspluatatsii pri nizkikh temperaturah / V.N. Volkov, V.A. Burmistrov, O.M. Timohova // Tehnicheskie nauki. – 2014. – No 8. – S. 1283–1287.

Надійшла/Paper received : 14.03.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

М. І. СТАДНІК, А. А. ВИДМИШ, С. А. ШАРГОРОДСЬКИЙ, В. С. РУТКЕВИЧ

Вінницький національний аграрний університет

САМООЧИСНИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ЗАМКНУТИХ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ

Розглядається питання підвищення надійності та довговічності роботи гідроагрегатів замкнутих гідросистем сільськогосподарського обладнання, за рахунок більш якісної очистки робочої рідини фільтраційними установками. Запропоновано конструкцію самоочисного фільтра з гідравлічною автоматикою керування зворотним промиванням щільних фільтраційних елементів противотечією робочої рідини.

Розроблено спеціальний стенд для імітаційного моделювання роботи самоочисного фільтра замкнутих гідросистем сільськогосподарського обладнання. Експериментальні дослідження на спеціальному стенді підтвердили працездатність запропонованої конструкції та дозволили виявити її основні переваги у порівнянні з вітчизняними та закордонними аналогами.

На основі аналізу перехідних процесів з підвищеною пульсацією тиску сільськогосподарського обладнання замкнутого гідравлічного привода встановлено фактичний перепад тисків, при якому спрацює автоматичне промивання, у порівнянні з розрахунковим, у якому неможливо було врахувати такі реальні фактори, як тертя в ущільнювальних вузлах, характеристику пружин, перекося, герметичність клапанних пар, коливання розмірних ланцюгів.

Визначено найбільш оптимальний режим роботи обладнання автопромивки при діаметрі дроселя 1,0 мм. Спрацювання обладнання автопромивки відбувалося при перепаді тиску 1,5 МПа (15 атм) та покращеному режимі – пульсації тиску з амплітудою 2 МПа (20 атм) при відключенні автопромивки скоротилися за часом до 0,12 с.

Зазначено, що розроблений самоочисний фільтр для замкнутих гідросистем сільськогосподарського обладнання дозволить підвищити надійність та збільшити ресурс напрацювання елементів гідроагрегатів та самої машини в цілому.

Ключові слова: гідропривод, робоча рідина, механічні частинки, робочий процес, гідророзподільник, тиск, фільтр, дросель, дослідний стенд, надійність, ресурс.

M. STADNIK, A. VIDMYSH, S. SHARGORODSKIY, V. RUTKEVYCH

Vinnytsia National Agrarian University

SELF-CLEANING FILTER FOR CLOSED HYDROSYSTEMS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT

The issue of increasing the reliability and durability of hydraulic units of closed hydraulic systems of agricultural equipment is considered, due to better cleaning of the working fluid by filtration units. The design of a self-cleaning filter with hydraulic automatic control of backwashing of slotted filtration elements with a counterflow of the working fluid is proposed.

A special stand has been developed for simulating the operation of a self-cleaning filter of closed hydraulic systems of agricultural equipment. Experimental studies on a special stand confirmed the efficiency of the proposed design and made it possible to identify its main advantages in comparison with domestic and foreign counterparts.

Based on the analysis of transient processes with increased pressure pulsation of agricultural equipment of a closed hydraulic drive, the actual pressure drop at which automatic flushing is triggered was established, compared with the calculated one, in which it was impossible to take into account such real factors as friction in the sealing units, the characteristics of the springs, distortions, tightness of valve pairs, fluctuations in dimensional chains.

The most optimal operating mode of auto-washing equipment with a choke diameter of 1.0 mm has been determined. The auto-washing equipment was switched on at a pressure drop of 1.5 MPa (15 atm) and in an improved mode - pressure pulsations with an amplitude of 2 MPa (20 atm) when the auto-wash was turned off decreased in time to 0.12 s.

It is noted that the developed self-cleaning filter for closed hydraulic systems of agricultural equipment will improve the reliability and increase the service life of the elements of hydraulic units and the machine itself as a whole.

Key words: hydraulic drive, working fluid, mechanical particles, working process, hydraulic distributor, pressure, filter, throttle, test bench, reliability, resource.

Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу України домогтися рентабельності сільськогосподарського виробництва можливо лише при високоефективному використанні техніки та обладнання. Але більшість сільськогосподарських підприємств знаходяться у складній економічній ситуації, у зв'язку з чим їх матеріально-технічна база практично не оновлюється. Тому ефективність проведення сільськогосподарських робіт залежить від технічного стану наявного сільськогосподарського обладнання, працездатності його вузлів і агрегатів, серед яких важливу роль відіграє гідравлічне обладнання [1].

Гідравлічні приводи отримали широке поширення в різних областях техніки, в тому числі і для забезпечення функціонування робочих органів сільськогосподарських машин та обладнання. Поширенню гідравлічного привода сприяють суттєві переваги: більш низькі енерговитрати у порівнянні з іншими типами приводів, можливості передачі значних зусиль з високим передаточним відношенням, забезпечення безступінчастої роботи, зниження інерційності системи, зменшення ваги і габаритних розмірів агрегатів, спрощення їх конструкції, надійний захист від перевантаження [1, 2].

Сучасний гідравлічний привод, що застосовується у сільськогосподарській техніці вимагає підвищених вимог до експлуатаційних показників масел, що використовуються в якості робочої рідини

гідравлічних систем. Саме від чистоти робочої рідини в значній мірі залежить надійність роботи гідравлічної системи і працездатність машини в цілому. Але на сьогодні існує нагальна проблема у підвищенні ефективності очищення робочої рідини в процесі експлуатації сільськогосподарської техніки та створенні нових конструкцій фільтрів та фільтраційних елементів, які б дозволили підвищити ступінь очистки робочої рідини. Тому теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження можливості застосування нових конструкцій самоочисних фільтрів з автоматичною промивкою противотечією робочої рідини в замкнутих гідросистемах сільськогосподарського обладнання є актуальним завданням.

Аналіз останніх джерел

Велика частина техніки, яка застосовується для виробництва сільськогосподарської продукції, використовує моторні масла, ресурс роботи яких обмежений, тому що заміна проводиться через нормативний термін. Сільськогосподарські підприємства відчувають дефіцит масел для різних агрегатів і систем машин, через високу вартість і витрат на технічне обслуговування [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій щодо впливу забруднення робочої рідини на функціонування гідравлічних систем сільськогосподарської техніки показав, що недостатня ступінь чистоти робочої рідини є одним з основних факторів, який впливає на надійність і безвідмовність функціонування гідравлічних систем, справність, тривалий термін її роботи та зменшення трудовитрат на її обслуговування. Порушення працездатного стану замкнутих гідравлічних систем сільськогосподарського обладнання через збільшення забрудненості механічними домішками робочих рідин складає 20–75 % всіх відмов, та зменшення ресурсу у 1,5–10 разів [4].

Робочі рідини, що використовуються в гідравлічних системах, повинні відповідати ряду експлуатаційним вимогам, від яких залежать робочі параметри, ресурс роботи та надійність гідравлічних систем. Оскільки робочої рідини універсального використання поки ще не створили, в кожному конкретному випадку необхідно враховувати комплекс таких властивостей рідини, які максимально відповідають конструкції гідравлічної системи, умовам її роботи експлуатації, вимогам до надійності та інше. Але є показник, який у рівні мірі відноситься практично до всіх робочих рідин, таким показником є чистота робочої рідини [2, 3].

Процес забруднення робочої рідини відбувається під час її виробництва, транспортування, зберігання та використання [5]. Серед сучасних методів очистки робочої рідини найбільш ефективним методом очистки в гідравлічних системах є фільтрування, що полягає у усуненні механічних домішок фільтраційними елементами різної конструкції [3]. До недоліків фільтраційних установок належить необхідність в періодичній заміні фільтроелементів, обмежений термін служби, економічний аспект, можливість внесення забруднень в гідросистему та інше.

Дослідженню процесів фільтрування робочих рідин і створення відповідного обладнання присвячені роботи В.І. Алешина, В.І. Барішева, Г.Ф. Большакова, В.А. Жужикова, В.П. Коваленка, В.В. Лебедева, Є.В. Мочаліна, З.Я. Лур'є, Д.А. Сьоміна, З.Л. Фінкельштейна, Є.І. Удлера та інших вчених [3, 6–9]. Експериментальні та теоретичні дослідження були направлені на підвищення тонкості фільтрування, в тому числі досліджувалась гідродинаміка течії, теплообмін, гідравлічні втрати, режими роботи пристрою, рух механічних частинок та інші елементи, які впливають на процес очищення робочої рідини в замкнених гідросистемах сільськогосподарського обладнання [8, 9]. На основі даних робіт [2, 7, 9] сформовані вимоги до фільтраційних матеріалів для очистки робочої рідини, а також запропонована класифікація даних матеріалів.

Вище перераховані вчені внесли великий вклад в теоретичне та практичне дослідження по очищенню робочої рідини від механічних забруднень. Але на сучасному етапі недостатньо вивчені питання по видаленню з робочої рідини механічних домішок шляхом фільтрації. Низька пропускна здатність суттєво ускладнює процес фільтрації робочої рідини. Існуючі установки для очищення робочої рідини складні по конструкції, мають недостатню продуктивність, а всі спроби по відновленню функціональних можливостей призводять до підвищення енерговитрат, трудовитрат та витрат спеціальних хімічних речовин, що суттєво удорожує експлуатацію гідравлічного привода. Низька брудомісткість та відсутність автоматичної системи самоочистки фільтраційних установок також суттєво погіршує умови експлуатації даних приводів. У зв'язку з чим, очевидно, що подальші теоретичні та практичні дослідження, направлені на пошук надійного способу очистки робочих рідин, збільшення їх ресурсу та роботи.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу очищення робочої рідини замкнених гідравлічних систем сільськогосподарського обладнання від механічних домішок самоочисним фільтром з гідравлічною автоматикою керування зворотним промиванням щільних фільтраційних елементів противотечією робочої рідини.

Виклад основного матеріалу

У експериментальних дослідженнях [10] була встановлена періодичність промивання фільтраційної установки, яка повинна проводитись не рідше двох раз на місяць, а у випадку вповільнення виконання операцій – негайно. Зазначено, що порушення прийнятої періодичності може призвести до підвищення різниці тиску й деформації фільтраційного елемента.

Разом з тим такі фільтраційні елементи не втрачають працездатності завдяки пластичності щілиноутворюючого дроту (рис. 1 і 2). Для порівняння, на рис. 3 показаний секційний фільтр фірми «ОНЕ» (Німеччина), який виготовлений із твердого щілиноутворюючого дроту й через несвоєчасне промивання

вийшов з ладу.



Рис. 1. Фільтраційний елемент фільтра Ф12



Рис. 2. Деформований фільтраційний елемент фільтра Ф12



Рис. 3. Ушкоджений фільтраційний елемент фірми «ОНЕ»

Після проведення експериментальних досліджень автори [11] змушені були внести корективи у конструкторську документацію фільтраційного елемента, а саме конструкція фільтраційного елемента була зсередини посилена каркасом і введене друге виконання на Ду 20. Основні параметри й розміри даних фільтрів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні параметри й розміри фільтрів

Найменування параметра та одиниці вимірювання	Значення	
	Ф12	Ф20
Умовний прохід (довідковий), мм	12	20
Тиск номінальний, МПа	32	40
Витрата номінальна, л/хв	80	150
Тонкість фільтрації номінальна, мм	0,05	
Перепад тисків, МПа, не більше	4	
Допустимий перепад тиску при забрудненні фільтра, МПа, не більше	7	
Габаритні розміри, мм:		
- довжина	125	160
- діаметр	36	40
Вага, кг	0,5	0,9

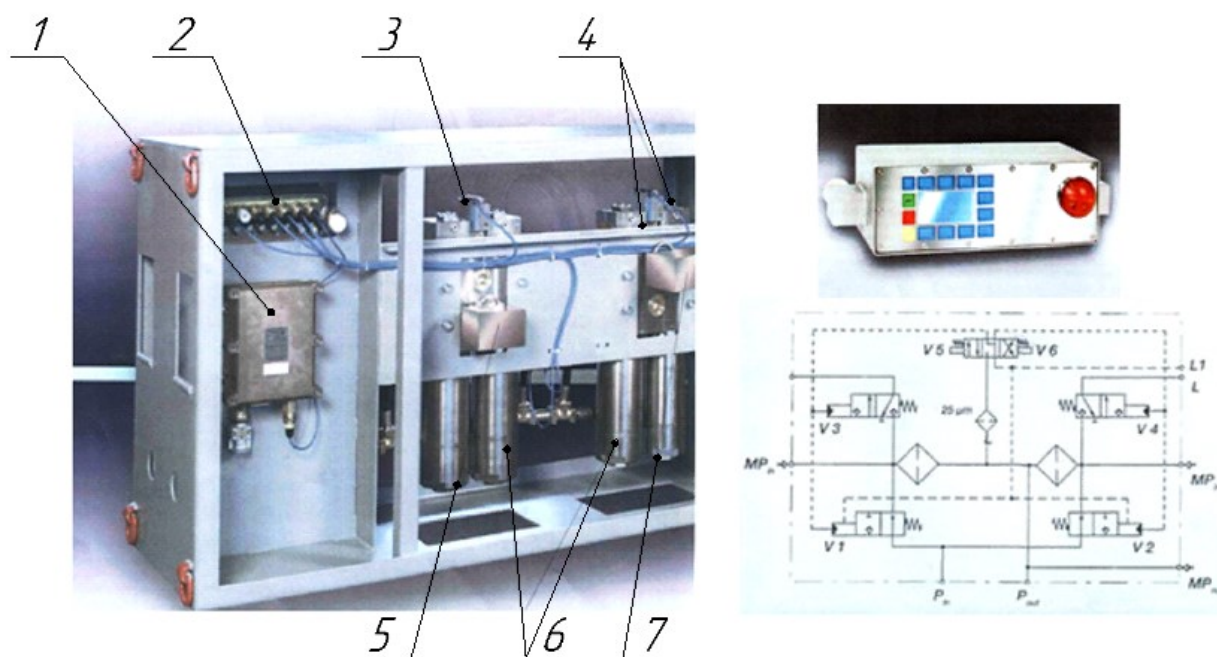
З метою мінімізації ручних робіт з технічного обслуговування фільтраційних установок на сільськогосподарських підприємствах, ряд відомих західних фірм випускає значний типорозмірний ряд фільтрів з автоматичним промиванням (самоочисткою поверхні фільтрувального елемента від «фільтрувального пирога»). Залежно від напрямку фільтраційного потоку утворення «фільтрувального пирога» відбувається або на зовнішній, або на внутрішній стороні фільтраційного елемента, а його змив і

видалення за межі фільтра проводиться автоматичним включенням противотечії фільтраційної рідини. Представленні конструкції, у яких автоматичне видалення «фільтрувального пирога» із внутрішньої поверхні фільтраційного елемента здійснюється обертовими щітками з наступним змивом [9].

У всіх випадках процес автоматичного промивання (самоочистки) починається по досягненню заданого перепаду тиску (тобто різниці тисків між забрудненою та чистою стороною фільтраційного елемента), або після закінчення заданого проміжку часу. У більшості випадків контроль цих параметрів здійснюють електричні датчики тиску або таймери, що посилають сигнали на включення-відключення виконавчих апаратів автопромивки. Залежно від обсягів фільтраційного потоку, площі фільтрації, вмісту шкідливих домішок, щільності «фільтрувального пирога», робочого тиску цикл промивання може тривати від 1-2 з до 10–15 с [12].

Для сільськогосподарської галузі найбільш близькими аналогами можуть стати фільтри автопромивки фірм «SEEBACH» і «TIEFENBACH» (Німеччина), що відповідають пропонованим вимогам по параметрах.

Разом з тим, загальним недоліком таких фільтрів є необхідність у додатковому (зовнішньому) джерелі енергії, у цьому випадку – електричному. З аналізу закордонної інформації (рис. 4) видно наскільки це ускладнює, здорожує і робить керуючу електрогідравліку безпосередньо фільтра чутливими до забруднень.



1 – блок живлення; 2 – блок керування; 3 – електромагнітний клапан попереднього керування;
4 – перемикаючий клапан; 5 – вихідний фланець;
6 – труба фільтраційного елемента; 7 – вхідний фланець

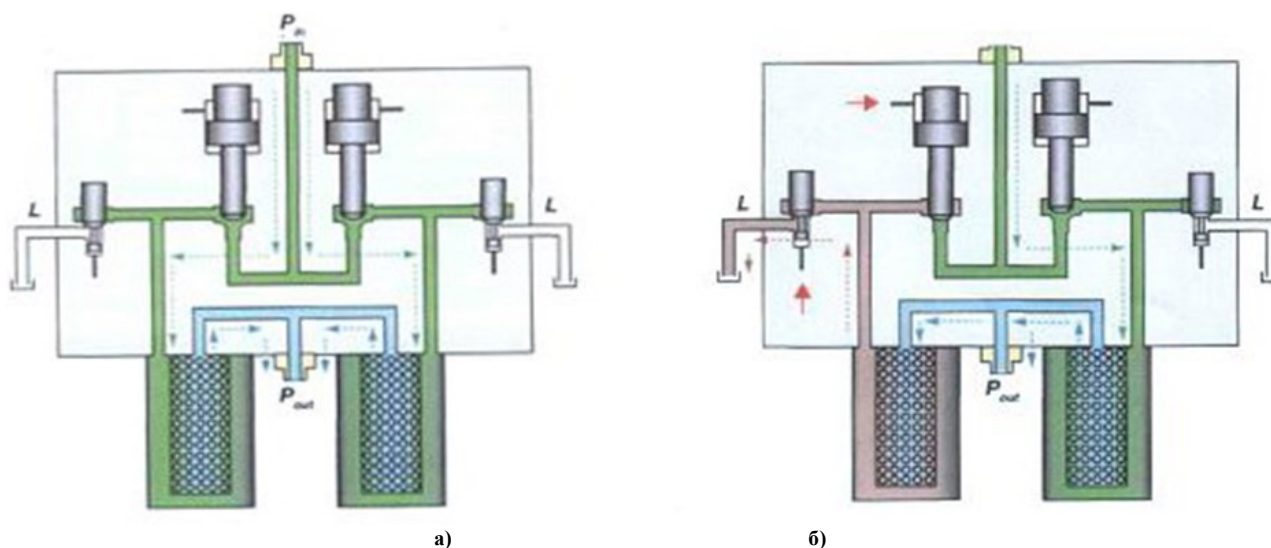


Рис. 4. Автоматичний фільтр зворотного промивання фірми «TIEFENBACH»: а) фільтрація, б) промивання

фільтрувальне устаткування, як вітчизняних виробників так і закордонних, серед яких слід виділити Селтон, Parker Filtration, Ariana, British Filters Limited, Filter Paks, Servi, Stanadyne Corporation, Mahle, Hydac, Donaldson Company та Filtrec. Фільтраційні елементи та фільтраційне устаткування даних фірм досить затребуваний на ринку сільськогосподарського машинобудування України. Слід зазначити, що на ринку фільтраційного обладнання України представлено обладнання досить з високою тонкістю фільтрування (до 0,5 мікрометрів) [12].

Перспективною тенденцією, що спостерігається на ринку фільтраційних елементів та фільтраційних установок сільськогосподарського обладнання є застосування фільтраційних елементів, конструкційні рішення яких дозволяють виконувати довготривале безперервне відновлення фільтрувального елемента без зупинення робочого процесу в гідросистемі і безпосередньо фільтрування.

Основні результати досліджень

Для вирішення проблеми очищення робочої рідин універсального гідравлічного автомобілерозвантажувача (рис. 5) запропоновано самоочисний фільтр з чисто гідравлічною автоматикою керування зворотним промиванням щільних фільтрувальних елементів противотечією робочої рідини, конструкція якого суттєво простіша та дешевша вищеописаної [13]. Основні параметри фільтра наведено в табл. 2.



Рис. 5. Універсальний гідравлічний автомобілерозвантажувач

Таблиця 2

Основні параметри та розміри фільтра

Найменування параметра та одиниці вимірювання	Значення
Умовний прохід (довідковий), мм	20
Витрата номінальна, л/хв	200
Тиск номінальний, МПа	32
Перепад тисків, МПа	4
Тонкість фільтрації номінальна, мм	0,05
Габаритні розміри, мм	
- довжина	1000
- ширина	450
- висота	400
Вага, кг	190

Гідравлічну схему самоочисного фільтра показано на рис. 6. Самоочисний фільтр складається з гідравлічного блоку 1, у якому встановлено чотири фільтраційних елемента 2, що закриті стеканами. До блоку приєднано гідроблок керування 3, до складу якого входять дві конічні клапанні пари і гідророзподільник 4 з плоским золотником, гідравлічно зв'язані між собою каналами в блоці. Гідроблок керування має рукоятку 5 для дублюючого ручного керування (при необхідності). Зворотний клапан 6 призначений для відсічення гідросистеми кріплення при промиванні фільтра.

По рукавах 7 і 8 з сповільнювачами швидкісного потоку струменів відбувається скидання при промиванні забруднень із гідророзподільника та дренажу з гідроблоку керування. Вхід у фільтр рідини від одного або двох джерел відбувається через колектор 9, а вихід – через один або два кульові крани (для одного або двох споживачів). Самоочисний фільтр встановлено на рамі (на схемі не показано). Очищення

включається періодично в міру забруднення фільтраційних елементів і підвищення перепаду тисків до величини настроювання автопромивки, яку можна контролювати візуально по манометрах 10, установлених на вході й виході.

Були проведені попередні випробування на спеціальному стенді, де досліджувалися режими роботи, насамперед, вузлів гідроавтоматики, від яких залежить працездатність і надійність фільтра в цілому. Важливо було встановити фактичний перепад тисків, за якого спрацьовує автоматичне промивання, у порівнянні з розрахунковим, у якому неможливо було врахувати такі реальні фактори, як тертя в ущільнювальних вузлах, характеристика пружин, перекоси, герметичність клапанних пар, коливання розмірних ланцюгів і, нарешті, неминучі перехідні процеси з підвищеною пульсацією тиску обладнання, що залежать від конструкції, автопромивки, що й впливають на ресурс.

На рис. 7 показана функціональна схема роботи самоочисного фільтра й основні елементи стенда для його дослідження та випробувань з імітацією засмічення фільтраційних елементів.

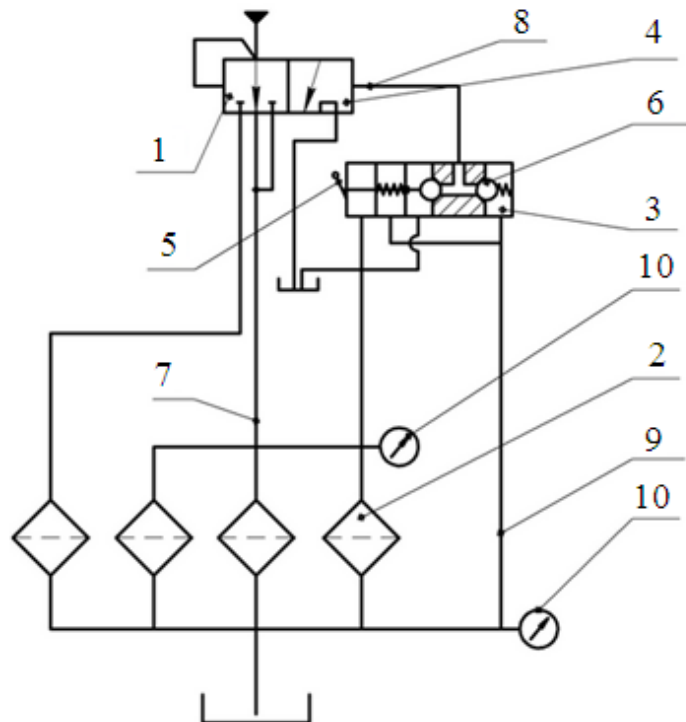


Рис. 6. Гідрравлічна схема самоочисного фільтра:
1 – гідралічний блок; 2 – фільтраційний елемент; 3 – гідроблок керування; 4 – гідророзподільник; 5 – рукоятка; 6 – зворотний клапан; 7, 8 – рукава; 9 – колектор; 10 – манометри

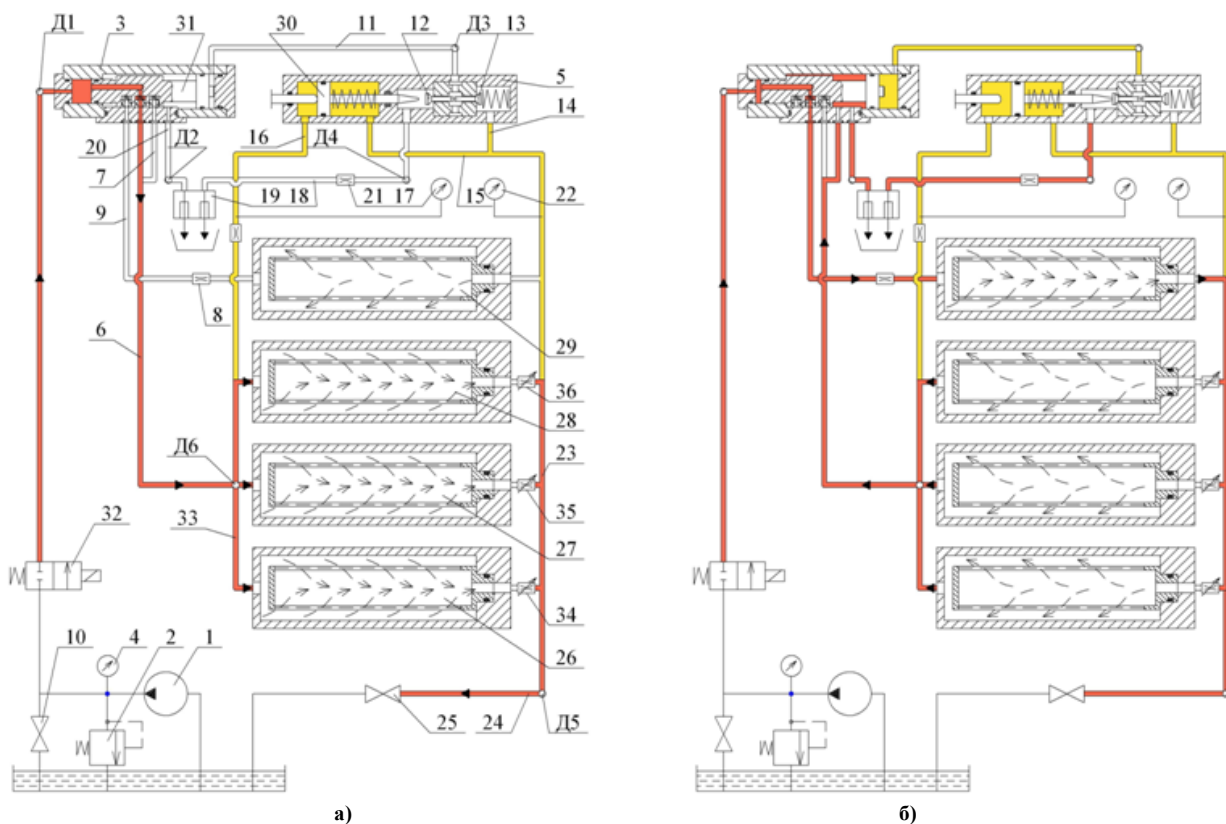


Рис. 7. Функціональна схема роботи самоочисного фільтра на дослідному стенді: а) фільтрація; б) автопромивка

По каналах червоного кольору рідина протікає; канали жовтого кольору є командними; канали білого кольору працюють тільки при промиванні. Вода від насосної станції 1 із запобіжним клапаном 2, пропускним краном 10, манометром 4 через електрогідралічний клапан 32 надходить у гідророзподільник

фільтра 3, плоский золотник 31 якого переміщається в крайнє праве положення (режим фільтрації) і направляє потік рідини по каналу 6, через вхідний колектор 33 до фільтраційних елементів 26, 27, 28 і 29. У фільтраційних елементах 26, 27, 28 рідина очищається і через стендові регульовані дроселі 34, 35, 36, що імітують забруднення фільтра, надходить через вихідний колектор 23 до споживача 25 по рукавові 24. Фільтраційний елемент 29 призначений для очищення потоку, що протікає через систему автопромивки при її спрацюванні. Вхідний колектор з'єднаний каналом 16 з поршневою порожниною штовхача 30 з диференціальним поршнем і регульованою пружиною гідроблоку керування 5; вихідний колектор каналами 15 і 14 – зі штоковою порожниною штовхача і порожниною підпружиненого напірного клапана 13, який у режимі фільтрації закритий. Нормально відкритий дренажний клапан 12 може взаємодіяти з штоком штовхача в дренажній камері й своїм хвостовиком – з хвостовиком нормально закритого напірного клапана, розташованого співвісно з дренажним у загальному для обох клапанів корпусі. Каналом 11 корпус з'єднаний з порожниною керування плоского золотника гідророзподільника.

Дренажна камера гідроблоку керування через дросель 21 з'єднана рукавом 18 з сповільнювачами швидкості потоку 19, через який відбувається відвід дренажу в злив. На вхідному й вихідному колекторах установлені манометри 17 і 22, по яких можна візуально контролювати викликаний засміченням перепад тиску на фільтрі. Плавним перекриттям регульованих дроселів досягається значення перепаду тиску, що визначається різницею площ поршневої і штокової порожнини штовхача та настроюванням пружини для спрацювання автопромивки; штовхач 30 переміщається вправо, закриває дренажний клапан, який при цьому відкриває напірний клапан. Спрацюванню обладнання автопромивки передують незначні скидання рідини із дренажної камери по рукавові 18 у злив. Через відкритий напірний клапан рідина по каналу 11 надходить у камеру керування гідророзподільника, плоский золотник переміщається вліво, перекриває канал 6 і відкриває канал 9, по якому рідина надходить у допоміжний фільтраційний елемент 29 для очищення, а потім, через вихідний колектор, надходить для зворотного промивання робочих фільтраційних елементів 26, 27 і 28 і через вхідний колектор, канал 7, гідророзподільник і рукав 20 скидається в злив.

Вище було сказано, що характер перехідних процесів, що виникають при переході з режиму фільтрації в режим промивання й назад, залежить від конструкції обладнання автопромивки.

Для вивчення впливу деяких з конструктивних факторів, а також для виміру фактичного перепаду тиску, при якому відбувається перехід у режим промивання, у характерних точках гідросистеми фільтра були встановлені датчики тиску D_1 – D_6 і записані осцилограми роботи фільтра в різних режимах. Було встановлено, що стабільна робота обладнання автопромивки (з мінімальними перехідними процесами) залежить від наявності підпору в лінії дренажу 18, який можна створити за допомогою дроселя 21. На рис. 8 наведені осцилограми, що ілюструють цю залежність. При відсутності підпору в лінії дренажу й максимально припустимому перепаді тиску 4 МПа (40 атм) обладнання автопромивки не включалося. З дроселем (0,6 мм автопромивка включалася при перепаді тиску 1,8 МПа (18 атм), але при цьому вона супроводжувалася значними пульсаціями тиску по амплітуді до 2 МПа (20 атм) і частоті, які негативно впливають на надійність деталей проточної частини апаратів.

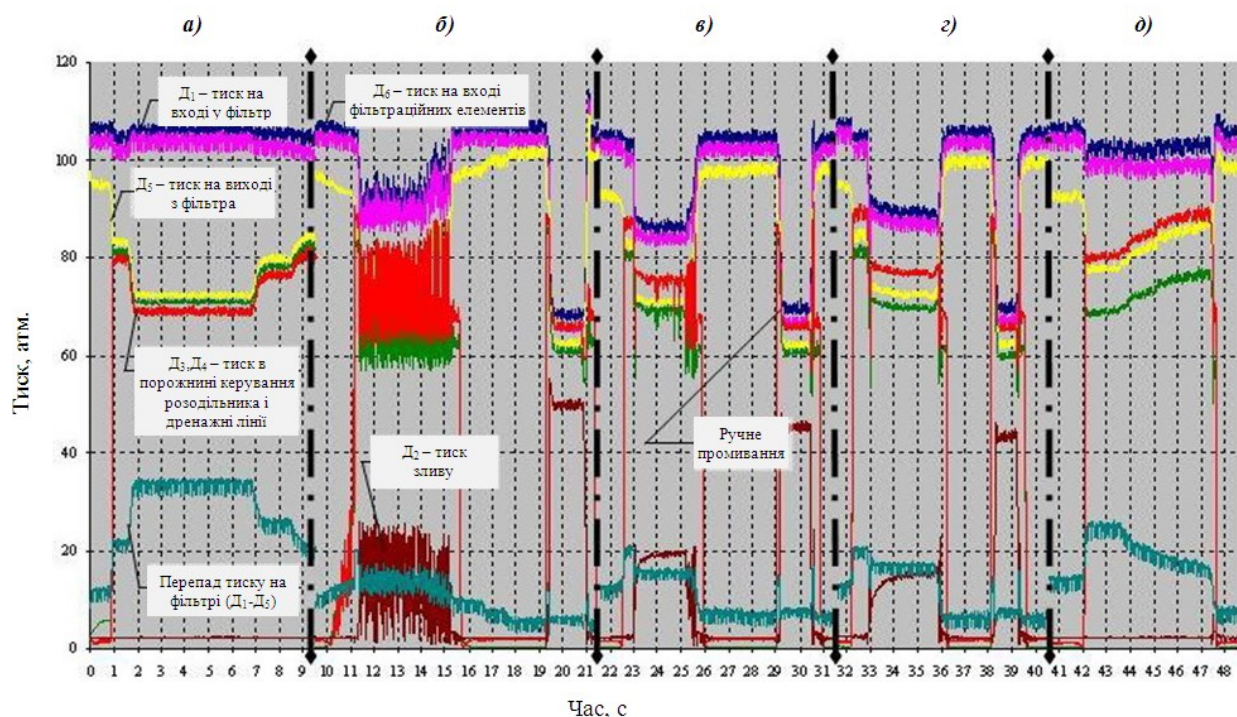


Рис. 8. Осцилограма роботи самоочисного фільтра:
а) без дроселя; б) з дроселем \varnothing 0,6 мм; в) з дроселем \varnothing 0,8 мм;
г) з дроселем \varnothing 1 мм; д) з дроселем \varnothing 0,14 мм

З дроселем \varnothing 0,8 мм обладнання автопромивки включалося при перепаді тиску 1,5 МПа (15 атм) і її режим суттєво покращився – пульсації тиску тривалістю \sim 0,5 і амплітудою близько 2 МПа (20 атм) залишилися тільки в момент перехідного процесу – при відключенні обладнання автопромивки.

З дроселем \varnothing 1,0 мм обладнання автопромивки включалося при тому ж перепаді тиску 1,5 МПа (15 атм), а режим її роботи став ще більш сприятливий – пульсації тиску з амплітудою 2 МПа (20 атм) при відключенні автопромивки скоротилися за часом до 0,12 с.

Режим роботи при дроселі 1,0 мм був найбільш оптимальним, оскільки при подальшому збільшенні діаметра дроселя режим почав погіршуватися і з дроселем 1,4 мм обладнання автопромивки припинило включатися.

Висновки та пропозиції

На основі аналізу існуючих конструкцій фільтраційних установок та фільтраційних елементів розроблено самоочисний фільтр з гідравлічною автоматикою керування зворотним промиванням щільних фільтраційних елементів протитечею робочої рідини, конструкція якого суттєво простіша та дешевша за вітчизняні та закордонні аналоги.

Встановлено фактичний перепад тисків, при якому спрацьовує автоматичне промивання, у порівнянні з розрахунковим, у якому неможливо було врахувати такі реальні фактори, як тертя в ущільнювальних вузлах, характеристику пружин, перекося, герметичність клапанних пар, коливання розмірних ланцюгів. А також проаналізовано перехідні процеси з підвищеною пульсацією тиску обладнання, що залежать від конструкції, автопромивки.

Імітаційне моделювання роботи фільтра на спеціальному стенді дозволило підтвердити працездатність запропонованої конструкції та виявити її переваги.

Найбільш оптимальний режим роботи обладнання автопромивки спостерігався при діаметрі дроселя 1,0 мм. Розроблена конструкція самоочисного фільтра дозволить підвищити працездатність та надійність не лише фільтра а й усіх вузлів гідроавтоматики та збільшити їх ресурс.

Література

1. Іванов М.І. Підвищення експлуатаційної ефективності блочно-порційного вивантажувача консервованих кормів шляхом гідролізації привода робочих органів / М.І. Іванов, С.А. Шаргородський, В.С. Руткевич // Промислова гідраліка і пневматика. – 2013. – № 1(39). – С. 91–96.
2. Фінкельштейн З.Л. Експлуатація, обслуговування та надійність гідравлічних машин і гідроприводів : навч. посіб. / Фінкельштейн З.Л., Андренко П.М., Дмитрієнко О.В. – Харків : Видавничий центр. НТУ “ХПІ” – 2014. – 308 с.
3. Мочалин Е.В. Проблемы промышленной очистки жидкостей от механических загрязнений и применение ротационных фильтров / Е.В. Мочалин, А.А. Халатов // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31. – № 2. – С. 57–69.
4. Ащеулов А.В. Анализ интенсивности отказов гидравлического оборудования / А.В. Ащеулов // Гидравлика пневматика приводы. – 2010. – № 1(3). – С. 8–12.
5. Рыбаков К.В. Пути совершенствования систем обеспечения чистоты нефтепродуктов на складах агропромышленных предприятий / К.В. Рыбаков, В.П. Коваленко, В.А. Борзенко // Энерготехнические средства сельскохозяйственного назначения и их технические системы. – Москва : Сборник научных трудов МИИСП. – 1989. – Т. 2, № 2. – С. 68–75.
6. Лурье З. Я. Исследование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата системы смазки металлургического оборудования с учетом характеристик двухфазной жидкости / З. Я. Лурье, И. М. Федоренко // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2010. – Vol. 12. – С. 10–25.
7. Сёмин Д. А. Влияние типа и размера расчетных сеток на точность расчета течений в вихрекамерных нагнетателях / Д.А. Сёмин, А.С. Роговой // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – 2016. – №. 41. – С. 70–77.
8. Фінкельштейн З.Л. Снижение загрязненности водных ресурсов за счет применения гидродинамических фильтров / З.Л. Фінкельштейн, Л.Н. Бойко // Промислова гідраліка і пневматика. – 2003. – № 2. – С. 28–32.
9. Удлер Э.И. Средства фильтрации для мобильных машин и механизмов, эксплуатируемых при пониженных температурах / Э.И. Удлер, М.В. Кадочникова // Тез. докл. международной конференции, Тюмень, 1996.
10. Стадник Н.И. Фильтрационные установки для замкнутых гидросистем механизированной крепи / Н.И. Стадник, Ю.И. Варшавский, Ю.И. Кирилук [та ін.] // Горное оборудование и электротехника. – 2006. – № 2. – С. 13–15.
11. Пат. 36727 Украины: МПК (2007), E21D23/16, B01D29/48. Фильтроэлемент щелевого типа. 2008 05122 ; заявл. 21.04.08 ; опубл. 10.11.08, Бюл. № 21. 4 с.
12. Пат. № 12200 Украины, МПК (2006), F02D 23/00, B01D 27/00. Фильтр. 2005 08234 ; заявл. 22.08.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1. 6 с.

13. Гунько І.В. Комплексна система фільтрації для замкнутих гідросистем сільськогосподарського обладнання / І.В. Гунько, М.І. Стаднік, В.С. Руткевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2021. – № 4(112). – С. 113–125.

References

1. Ivanov M.I. Pidvyshchennia ekspluatatsiinoi efektyvnosti blochno-portsiinoho vyvantazhuvacha konservovanykh kormiv shliakhom hidrofikatsii pryvoda robochykh orhaniv / M.I. Ivanov, S.A. Sharhorodskyi, V.S. Rutkevych // Promyslova hidravlika i pnevmatyka. – 2013. – № 1(39). – С. 91–96.
2. Finkelshtein Z.L. Ekspluatatsiia, obsluhovuvannia ta nadiinist hidravlichnykh mashyn i hidropryvodiv : navch. posib. / Finkelshtein Z.L., Andrenko P.M., Dmytrienko O.V. – Kharkiv : Vydavnychiy tsentr. NTU “KhPI” – 2014. – 308 s.
3. Mochalin E.V. Problemy promyshlennoy ochistki zhidkostey ot mekhanicheskikh zagryazneniy i primeneniye rotatsionnykh filtrov / E.V. Mochalin, A.A. Halatov // Promyshlennaya teplotekhnika. – 2009. – Т. 31. – № 2. – С. 57–69.
4. Asheulov A.V. Analiz intensivnosti otkazov gidravlicheskogo oborudovaniya / A.V. Asheulov // Gidravlika pnevmatika privody. – 2010. – № 1(3). – С. 8–12.
5. Rybakov K.V. Puti sovershenstvovaniya sistem obespecheniya chistoty nefteproduktov na skladakh agropromyshlennykh predpriyatij / K.V. Rybakov, V.P. Kovalenko, V.A. Borzenko // Energotehnicheskie sredstva sel'skhozaystvennogo naznacheniya i ih tekhnicheskie sistemy. – Moskva : Sbornik nauchnykh trudov MIISP. – 1989. – Т. 2, № 2. – С. 68–75.
6. Lurye Z. Ya. Issledovanie rabocheho processa mehatronnogo gidroagregata sistemy smazki metalurgicheskogo oborudovaniya s uchetom kharakteristik dvuhfaznoy zhidkosti / Z. Ya. Lurye, I. M. Fedorenko // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2010. – Vol. 12. – С. 10–25.
7. Syomin D. A. Vliyaniye tipa i razmera raschetnykh setok na tochnost rascheta techeniy v vihkamernykh nagnetatelyah / D.A. Syomin, A.S. Rogovoy // Visnik Nacionalnogo tekhnicheskogo universitetu HPI. Seriya: Gidravlichni mashini ta gidroagregati. – 2016. – № 41. – С. 70–77.
8. Finkelshtein Z.L. Snizheniye zagryaznenosti vodnykh resursov za schet primeneniya gidrodinamicheskikh filtrov / Z.L. Finkelshtein, L.N. Bojko // Promislova gidravlika i pnevmatika. – 2003. – № 2. – С. 28–32.
9. Udler E.I. Sredstva filtratsii dlya mobilnykh mashin i mekhanizmov, ekspluatiruemykh pri ponizhennykh temperaturah / E.I. Udler, M.V. Kadochnikova // Tez. dokl. mezhdunarodnoy konferentsii, Tyumen, 1996.
10. Stadnik N.I. Filtratsionnye ustanovki dlya zamknytykh gidrosistem mekhanizirovannoy krepki / N.I. Stadnik, Yu.I. Varshavskiy, Yu.I. Kirilyuk [ta in.] // Gornoe oborudovanie i elektrotehnika. – 2006. – № 2. – С. 13–15.
11. Pat. 36727 Ukrainy: MPK (2007), E21D23/16, B01D29/48. Fil'troelement shelevogo tipa. 2008 05122 ; zayavl. 21.04.08 ; opubl. 10.11.08, Byul. № 21. 4 s.
12. Pat. № 12200 Ukrainy, MPK (2006), F02D 23/00, V01D 27/00. Filtr. 2005 08234 ; zayavl. 22.08.05 ; opubl. 16.01.06, Byul. № 1. 6 s..
13. Hunko I.V. Kompleksna systema filtratsii dlia zamknytykh hidrosistem sil'skohospodarskoho obladdannia / I.V. Hunko, M.I. Stadnik, V.S. Rutkevych // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2021. – № 4(112). – С. 113–125.

СТАДНИК М. І.
ВИДМИШ А. А.
ШАРГОРОДСЬКИЙ С. А.
РУТКЕВИЧ В. С.

e-mail: v_rut@ukr.net

Надійшла/Paper received : 21.04.2021 р. Надрукована/Printed : 08.06.2021 р.

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-139-146

УДК 67/68.08:678.053

М.Є. СКИБА, О.В. МІСЯЦЬ, А.О. ПОЛІЩУК

Хмельницький національний університет

В.П. МІСЯЦЬ, М.М. РУБАНКА

Київський національний університет технологій та дизайну

**СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ
ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННОГО ТРИФАЗНОГО
ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИВОДУ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ**

Проведено аналіз конструкції та принципу роботи сучасних роторних дробарок для подрібнення відходів полімерних матеріалів. Визначено шляхи можливого удосконалення існуючого обладнання для подрібнення відходів полімерних матеріалів. Сформульовано принципи автоматизації роботи приводу роторної дробарки. Розроблено структурну схему системи частотного керування приводом роторної дробарки. Проведено аналіз роботи асинхронних трифазних двигунів при частотному керуванні швидкістю обертання. Визначено механічні характеристики електроприводу роторної дробарки. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні нових і модернізації існуючих конструкцій роторних дробарок для подрібнення відходів полімерних матеріалів.

Ключові слова: електродвигун, подрібнення, полімери, відходи, привод, частотне керування, роторна дробарка, механічні характеристики.

MYKOLA J. SKYBA, OLEKSANDR V. MISIATS, A.O. POLISHUK

Khmelnytskyi National University

VOLODYMYR P. MISIATS, MYKOLA M. RUBANKA

Kyiv National University of Technologies and Design

**SYSTEM OF ADAPTIVE FREQUENCY CONTROL OF SPEED OF ROTATION OF THE ASYNCHRONOUS
THREE-PHASE ELECTRIC MOTOR OF THE ROTOR CRUSHER DRIVE**

The analysis of a design and the principle of work of modern rotary crushers for crushing of waste of polymeric materials is carried out. Ways of possible improvement of the existing equipment for crushing of waste of polymeric materials are defined. The principles of automation of the rotary crusher drive are formulated. The structural scheme of the frequency control system of the rotor crusher drive is developed. The analysis of operation of asynchronous three - phase motors at frequency control of speed of rotation is carried out. The mechanical characteristics of the electric drive of the rotary crusher are determined. The methodological and theoretical bases of the study are the main provisions of strength of materials, theoretical mechanics and the theory of electric drive. The paper for the first time uses a comprehensive approach to the study of the grinding process of polymeric materials, which takes into account the dependence of their physical and mechanical properties on the conditions of the process, as well as kinematic and electrical characteristics of the equipment. The object of research is the technological process of mechanical grinding of light industry waste in rotary crushers. The subject of the study is the electric drive of a rotary crusher for processing polymer waste. The expression for calculation of mechanical characteristics of asynchronous electric motors according to their passport data is received that allows to calculate modes of work of drives of crushers at various power frequencies and various control laws. The use of frequency control of the electric drive of the rotary crusher for the processing of waste polymeric materials from light industry will increase the reliability of its operation. The research results can be used in the design of new and modernization of existing structures of rotary crushers for grinding waste polymeric materials.

Key words: electric motor, grinding, polymers, waste, drive, frequency control, rotary crusher, mechanical characteristics.

Вступ

На сьогоднішній день існує понад 400 різних видів пластмасових відходів. Універсального рішення екологічної проблеми так і не знайдено, тому ідея радикального рішення проблеми відходів залишається актуальною [1–4]. Із-за специфічних властивостей полімерних матеріалів, які не піддаються гниттю, корозії, а при спалюванні ще й утворюється токсична зола і гази, такі як аміак, оксиди азоту, хлороводень, діоксин – проблема їх утилізації носить, перш за все, екологічний характер [5–8]. Разом з цим виникають економічні проблеми, оскільки поступово зростають потреби в здешевленні сировини для виробництва полімерів [9, 10].

Найбільш поширеним представником обладнання для переробки відходів матеріалів виробництв легкої промисловості в Україні є роторна дробарка, яка може також використовуватися для переробки відходів підприємств інших галузей – хімічної, харчової тощо [11–15].

В теперішній час існує ряд питань, що пов'язані з енергоефективністю технологічних процесів переробки відходів та довговічністю роторних дробарок, оскільки неусталені режими роботи роторних дробарок супроводжуються значними динамічними навантаженнями на робочі органи [16–18].

Вдосконалення роторних дробарок та систем їх електроприводу з врахуванням фізико-механічних властивостей подрібнюваних матеріалів є актуальною задачею, оскільки переробка відходів матеріалів виробництв легкої промисловості дозволяє заощадити кошти та підвищити екологічність виробництв [11].

Вдосконалення електроприводу дробарки можливе шляхом розробки системи адаптивного керування його асинхронним електродвигуном.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень є технологічний процес механічного подрібнення відходів матеріалів виробництв легкої промисловості в роторних дробарках. В ході розв'язання поставлених задач були використані основні положення опору матеріалів, теоретичної механіки і теорії електроприводу.

Постановка завдання

Враховуючи актуальність питання удосконалення систем електроприводу роторних дробарок для переробки відходів матеріалів виробництв легкої промисловості, завданням досліджень є розробка адаптивної схеми керування електродвигуном роторної дробарки, яка дозволить регулювати частоту обертання ротора дробарки, а в ідеалі і автоматично регулювати ступінь завантаження дробарки в залежності від потужності, яка витрачається на подрібнення відходів.

Результати та їх обговорення

Для адаптивного керування приводом роторної дробарки під час подрібнення відходів полімерних матеріалів виробництв легкої промисловості запропоновано структурну схему, яка представлена на рис. 1.

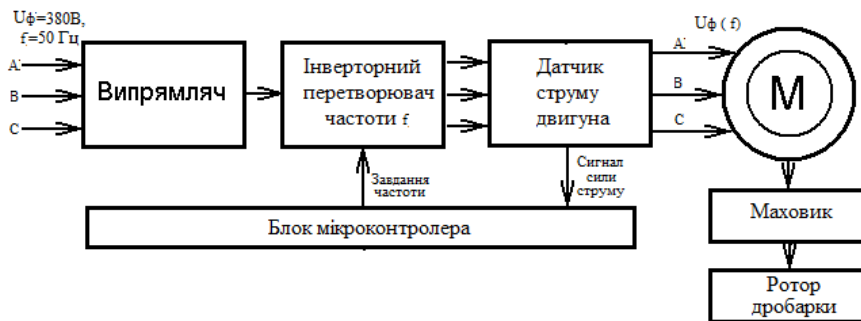


Рис. 1. Структурна схема системи адаптивного керування приводом роторної дробарки

У відповідності до структурної схеми (рис. 1), система керування приводом живиться від трифазної мережі з фазною напругою 380 В, частотою 50 Гц. Живлення подається на випрямляч, який формує постійний струм, що необхідний для інверторного перетворювача частоти, який формує трифазний струм, що може мати різні значення фазної напруги $U_\phi(f)$ і частоти f . На вході живлення електродвигуна встановлено датчик струму, який формує на своєму виході сигнал, рівень якого залежить від моменту опору на валу електродвигуна. Сигнал датчика струму є основним керуючим показником для адаптивного визначення частоти живлення і фазної напруги. Основним керуючим елементом системи є блок мікроконтролера, який у відповідності записаній програмі визначає необхідний режим живлення електродвигуна і керує роботою частотного інвертора.

При частотному керуванні швидкістю асинхронного електродвигуна має водночас змінюватись частота f та амплітуда U напруги живлення. Співвідношення напруги живлення і частоти може визначатись за різними законами. Самий простим є лінійний закон частотного керування швидкості асинхронного двигуна, який ще називається законом Костенка:

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1n}}{f_{1n}} = \text{const} \quad (1)$$

Згідно з (1) частота повинна змінюється пропорційно зміні напруги. Це забезпечує незмінне значення критичного моменту та незмінний номінальний магнітний потік при широкому діапазоні керування швидкістю від нуля і до максимальної. Найчастіше в якості максимальної виступає номінальна швидкість, якій відповідає номінальна напруга статора. Підвищення напруги вище номінальної обмежується електричною стійкістю ізоляції обмотки. Сімейство штучних механічних характеристик, які мають паралельні робочі ділянки, представлено на рис. 2.

Розглянутий закон частотного керування швидкості асинхронного двигуна є основним. Його перевагою є плавна зміна швидкості від нуля і до максимальної (номінальної) при незмінній жорсткості механічних характеристик та перевантажувальній здатності двигуна. Діапазон керування складає 5...10 для розімкнених систем та 1000 і більше для замкнених. Він називається "керування в першій зоні з постійним моментом двигуна". Недолік полягає у відносній складності та підвищеній вартості перетворювача частоти.

Для вентиляторів і насосів, статичний момент яких пропорційний квадрату швидкості $M_c \cong \omega^2$, придатний наступний закон частотного керування:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1n}}{f_{1n}^2} = \text{const} \quad (2)$$

при якому критичний момент двигуна зменшується пропорційно квадрату швидкості $M_k \cong \omega^2$ (рис. 4).

Для керування швидкістю із забезпеченням повної потужності двигуна, але з послабленням

магнітного потоку і відповідно зменшенням критичного моменту двигуна застосовується закон керування:

$$\frac{U_l}{\sqrt{f_l}} = \frac{U_{lH}}{\sqrt{f_{lH}}} = \text{const} \quad (3)$$

При цьому момент двигуна змінюється обернено пропорційно, а синхронна швидкість пропорційно частоті, тому потужність, як їх добуток залишається незмінним. Сімейство штучних механічних характеристик показано на рис. 5. Ці три закони частотного керування швидкості асинхронного двигуна є найбільш поширеними.

Розглянемо схему заміщення асинхронного двигуна (рис. 6) і отримаємо формулу для побудови механічних характеристик приводу.

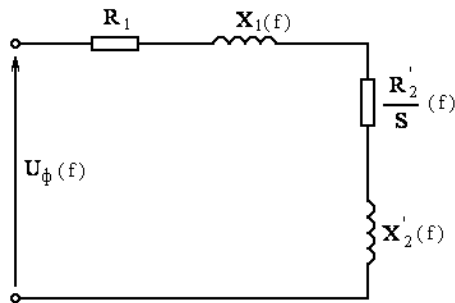


Рис. 6. Схема заміщення асинхронного двигуна: U_ϕ - фазна напруга живлення; X_1 - індуктивний опір статора; R_1 - активний опір статора; R_2' - активний приведенний опір ротора; X_2' - індуктивний опір ротора, приведений до обмотки статора

Згідно схеми заміщення, представленої на рис. 6, струм ротора визначається наступною залежністю:

$$I_2' = \frac{U_{l\phi}}{\sqrt{(R_l + R_2'/s)^2 + X_k^2}}, \quad (4)$$

де $X_k = X_1 + X_2'$ – сумарний індуктивний опір.

Активна електромагнітна потужність трифазного АД, яка передається до ротора через повітряний зазор, з однієї сторони дорівнює:

$$P_{12} = 3I_2'^2 R_2' / s = \frac{3U_{l\phi}^2 R_2' / s}{(R_l + R_2'/s)^2 + X_k^2},$$

а з іншої

$$P_{12} = M \omega_c.$$

Після порівняння вказаних потужностей отримується рівняння електромагнітного моменту асинхронного двигуна:

$$M = \frac{3U_{l\phi}^2 R_2'}{\omega_c s [(R_l + R_2'/s)^2 + X_k^2]}. \quad (5)$$

Як видно з виразу (5), момент асинхронного двигуна залежить від квадрату напруги статора, тому АД дуже чутливий до зниження напруги живлення.

Вираз для пускового моменту двигуна отримується з (5) при ковзанні $s=1$:

$$M_n = \frac{3U_{l\phi}^2 R_2'}{\omega_c [(R_l + R_2')^2 + X_k^2]}. \quad (6)$$

Функція (5) має точки екстремуму за ковзанням, які можна знайти прирівнявши відношення dM/ds до нуля. Це буде критичне ковзання двигуна:

$$s_{k1,2} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_l^2 + X_k^2}}. \quad (7)$$

Критичному ковзанню відповідає критичний момент:

$$M_{k1,2} = \pm \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_c [\pm R_l + \sqrt{R_l^2 + X_k^2}]} \quad (8)$$

В рівняннях (7) та (8) знак “–” береться, якщо швидкість двигуна більша за синхронну швидкість $\omega > \omega_c$.

З урахуванням формул для критичного ковзання (7) та критичного моменту (8) рівняння моменту двигуна (5) перетворюється у формулу Клоса [15], яка використовується для аналітичної побудови механічних характеристик АД:

$$M = \frac{2M_k (1 + s_k \frac{R_l'}{R_2})}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 s_k \frac{R_l'}{R_2}} \quad (9)$$

Двигуни середньої та великої потужності мають значення опору R_l значно менше за інші електричні опори двигуна, тому воно часто нехтується $R_l = 0$ і формули критичного ковзання, моменту та Клосса значно спрощуються

$$s_k \approx \pm \frac{R_2'}{X_k}; \quad M_k \approx \pm \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_c X_k}; \quad M \approx \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}};$$

та знаходиться простий вираз для знаходження критичного ковзання двигуна:

$$s_k \approx s_n (\lambda_m \pm \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) \quad (10)$$

де $\lambda_m = M_k / M_n$ – відношення критичного моменту до номінального.

Швидкісні характеристики можна отримати, виходячи з виразу для струму I_2' . Розрахуємо електромеханічну характеристику для різної частоти живлячої напруги:

$$I_2' = \frac{U_\phi(f)}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{S(f)} \right)^2 + (x_k \cdot f^*)^2 \right]}} \quad (11)$$

де $U_\phi(f)$ – фазна напруга при заданій частоті; $S(f)$ – це ковзання при заданій частоті. Скористаємось наступними формулами для визначення невідомих параметрів схеми заміщення: Критичне ковзання S_k :

$$S_k = S_n \cdot (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0,029 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,12 \quad (12)$$

де S_n – номінальне ковзання; λ_m – коефіцієнт перевантаження. Індуктивний фазний опір короткого замикання x_k :

$$x_k = \sqrt{\frac{R_2'^2}{S_k^2} - R_1^2} \quad (13)$$

Фазна напруга повинна змінюватись у відповідності до певного закону зі зміною частоти. В залежності від виду моменту опору найчастіше дотримуються пропорцій:

$$\frac{U_\phi}{f} = const \quad \text{або} \quad \sqrt{\frac{U_\phi}{f}} = const \quad (14)$$

В нашому випадку ми не змінюємо частоту живлення при постійному режимі роботи електродвигуна, а задаємо йому дві фіксованих частоти обертання. Окрім того, ми не можемо підвищити напругу живлення вище номінальної при регулюванні швидкості вверх від номінальної. Тому приймемо, що фазна напруга $U_\phi(f)$ при збільшенні частоти залишається 380 В, а при частоті обертання менше номінальної двигун живиться пониженою напругою, значення якої знаходиться в межах:

$$U_{\phi,ном} \frac{f_i}{50} \leq U_\phi \leq U_{\phi,ном} \sqrt{\frac{f_i}{50}} \quad (15)$$

Для частоти живлення 30 Гц $U_\phi = 280 \dots 310$ В. Варіювання фазної напруги в цих межах дасть змогу

підібрати необхідну механічну характеристику електродвигуна.

Ковзання при заданій частоті можна знайти за формулою:

$$S(f) = \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*} \quad (16)$$

де ω_{0n} – номінальна швидкість обертання; $f^* = f_i / f$; f – задана частота живлячої напруги; f_i – частота, що змінюється.

В результаті підстановки виразу (16) в (12) отримаємо остаточний вираз для швидкісної характеристики:

$$I_2' = \frac{U_\phi(f)}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_{0n} \cdot f^*}{\omega_{0n} \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (x_k \cdot f^*)^2 \right]}} \quad (17)$$

Підставивши різні значення частоти живлячої напруги, і швидкості від 0 до ω_0 у формулу (17), отримаємо значення струму I_2' для швидкісних характеристик при різних частотах.

Запишемо вирази для моменту АД, підставляючи в нього значення параметрів з урахуванням частоти живлячої напруги:

$$M = \frac{3 \cdot U_\phi^2(f) \cdot \frac{R_2'}{S(f)}}{\omega_0(f) \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{S(f)} \right)^2 + x_k^2(f) \right]} \quad (18)$$

В результаті перетворень виразу (18), підставивши в нього (16), отримаємо остаточний вираз для побудови механічної характеристики:

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\phi,ном} \cdot \sqrt{f^*})^2 \cdot \frac{R_2' \cdot \omega_{0n} \cdot f^*}{\omega_{0n} \cdot f^* - \omega}}{\omega_{0n} \cdot f^* \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_{0n} \cdot f^*}{\omega_{0n} \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (x_k \cdot f^*)^2 \right]} \quad (19)$$

Підставивши різні значення частоти живлячої напруги, і швидкості від 0 до ω_0 у формулу (19), отримаємо значення моменту для механічних характеристик електродвигунів при різних частотах.

В приводі роторної дробарки, що потребує удосконалення, встановлено асинхронний трифазний двигун з короткозамкненим ротором АИР100s4u2, який має наступні характеристики [16]:

- номінальна напруга живлення 380 В;
- потужність 3 кВт;
- коефіцієнт потужності 0,82;
- частота обертання 1420 об/хв;
- номінальний струм 7,2 А;
- номінальний момент 12 Нм;
- кратність перевищення моменту 2,3.

Розрахунки проведено з використанням програмного забезпечення «MathCad».

На рис. 8 представлено механічні характеристики електродвигуна 4А50В2У3 з синхронною частотою обертання 3000 об/хв при різних частотах живлення за законом керування $U_\phi / f = const$.

На рис. 9 представлено механічні характеристики електродвигуна 4А100В2У3 з синхронною частотою обертання 3000 об/хв при різних частотах живлення за законом керування $U_\phi / f^2 = const$.

На рис. 10 представлено механічні характеристики електродвигуна 4А50В2У3 з синхронною частотою обертання 3000 об/хв при різних частотах живлення за законом керування $\sqrt{U_\phi / f} = const$.

Для отримання робочих точок електроприводу при різних законах керування можна в першому наближенні вважати момент опору на валу дробарки постійним.

З отриманих графіків механічних характеристик електродвигуна видно, що при законі керування $U_\phi / f = const$ (рис. 8) робота приводу дробарки не ефективна в усьому діапазоні регулювання частоти

живлення, оскільки максимальний момент «перекидання» асинхронного двигуна не змінюється. А для роботи дробарки при виникненні пікових перевищень моменту це є визначальним чинником.

При законі керування $U_{\phi}/f^2 = const$ (рис. 9) не можлива робота, оскільки в цьому випадку його момент опору буде знаходитись в небезпечній області характеристик при частотах живлення нижче номінальної. Цей закон більше підходить для вентиляторних пристроїв, коли момент опору пропорційний квадрату швидкості обертання.

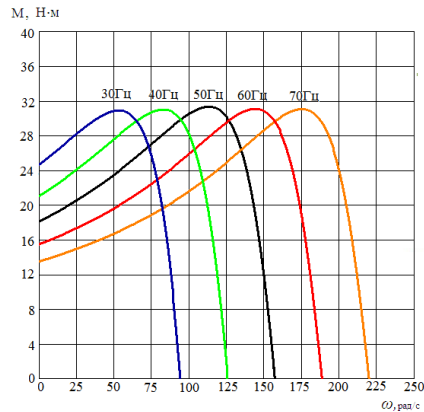


Рис. 8. Механічні характеристики електродвигуна 4A50B2Y3 з синхронною частотою обертання 3000 об/хв при різних частотах живлення за законом керування $U_{\phi}/f = const$

При законі керування $\sqrt{U_{\phi}/f} = const$ (рис. 10) робота дробарки буде найбільш ефективною, оскільки його момент опору буде знаходитись в безпечній області характеристик при всіх заданих частотах живлення.

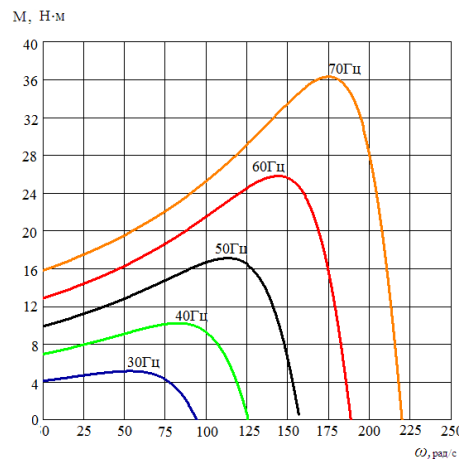


Рис. 9. Механічні характеристики електродвигуна 4A50B2Y3 з синхронною частотою обертання 3000 об/хв при різних частотах живлення за законом керування $U_{\phi}/f^2 = const$

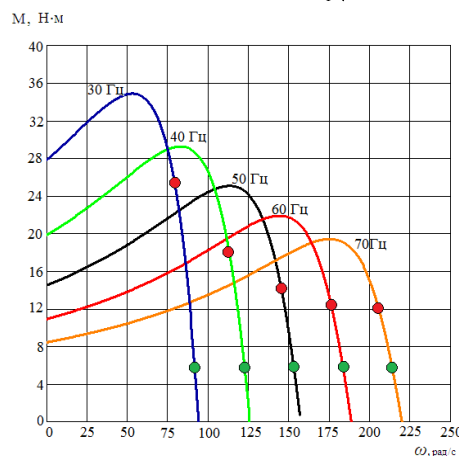


Рис. 10. Механічні характеристики електродвигуна 4A50B2Y3 з синхронною частотою обертання 3000 об/хв при різних частотах живлення за законом керування $\sqrt{U_{\phi}/f} = const$

Програмований пристрій керування (блок мікроконтролера) повинен виконувати наступний алгоритм:

- запуск двигуна здійснювати при мінімальній частоті живлення (30 Гц); в цьому режимі пусковий момент двигуна максимальний, а швидкість невелика, що сприяє «м'якому» розгону ротора з маховиком (з таким приводом маховик можна навіть збільшити);
- після розгону привода до усталеної швидкості (рис. 8) частоту потрібно підвищити до номінальної (50 Гц); це середній режим роботи привода;
- при завантаженні відходів полімеру в дробарку момент опору зростає і якщо він почне перевищувати максимальне значення для режиму роботи з номінальною швидкістю, то блок керування повинен зменшити частоту живлення. А якщо момент зменшується, то потрібно збільшувати частоту.

Потрібно зазначити те, що згідно даним про залежність сили різання від швидкості, момент опору при більших частотах обертання буде меншим. Це узгоджується з характеристиками на рис. 10.

Для представлення принципу керування на характеристиках (рис. 10) показані маркери небезпечного перевищення моменту при різних частотах (червоні крапки) і маркери, що визначають можливість переходу на більшу частоту обертання (зелені крапки). При збільшенні моменту до «червоного» рівня привод повинен переходити на меншу частоту обертання, а при досягненні «зеленого» рівня – на більшу. При досягненні «червоного» рівня на мінімальній частоті подається команда на аварійне зупинення електродвигуна і він знеструлюється. Це забезпечить його надійний захист від «перекидання».

Ділянки між «червоними» і «зеленими» маркерами визначають робочі механічні характеристики приводу дробарки, на яких вона працює в нормальному режимі.

Висновки

Під час використання роторної дробарки для переробки полімерних відходів матеріалів легкої промисловості періодично виникають пікові зростання моменту опору, які у випадку частого повторення призводять до падіння кінетичної енергії махових мас ротора і зупинення електродвигуна внаслідок «перекидання» (перевищення критичного моменту).

Отримано вираз для розрахунку механічних характеристик асинхронних електродвигунів за їх паспортними даними, що дозволяє розраховувати режими роботи приводів дробарок при різних частотах живлення і різних законах управління.

Встановлено, що найбільш придатним законом керування частотою і фазною напругою асинхронного електродвигуна приводу роторної дробарки для переробки відходів полімерних матеріалів виробництв легкої промисловості є співвідношення $\sqrt{U_{\phi}/f} = const$.

Використання частотного керування електроприводом роторної дробарки для переробки відходів полімерних матеріалів виробництв легкої промисловості призведе до підвищення надійності його роботи.

Література

1. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки : учеб. пособие / [Г. К. Лобачева, В. Ф. Желтобрюхов, И. И. Прокопов, А. П. Фоменко]. – Волгоград : ВолГУ, 2005. – 176 с.
2. Екологічний менеджмент : навчальний посібник / [В. Ф. Семенов, О. Л. Михайлюк, Т. П. Галушкіна та ін.] ; за ред. В. Ф. Семенова, О. Л. Михайлюк. – К. : Центр навчальної літератури, 2004. – 407 с.
3. Гринин А. С. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 336 с.
4. Управління та поводження з відходами. Частина 4. Технології переробки твердих побутових відходів : навчальний посібник / [В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, В. А. Іщенко, Р. В. Петрук]. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 234 с.
5. Штриплинг Л. О. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов : учеб. пособие / Л. О. Штриплинг, Ф. П. Туренко. – Омск : ОмГТУ, 2005. – 192 с.
6. Кривошеин Д. А. Основы экологической безопасности производств : учеб. пособие / Д. А. Кривошеин, В. П. Дмитренко, Н. В. Федотова. – СПб : Лань, 2015. – 336 с.
7. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води : навчальний посібник / [В. М. Савицький, В. К. Хільчевський, О. В. Чунарьов, М. В. Яцюк]. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.
8. Сметанин В. И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления / В. И. Сметанин. – М. : Колос, 2000. – 232 с.
9. Клинков А. С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов : учеб. пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов. – Тамбов : ТГТУ, 2005. – 80 с.
10. Переробка відходів гуми та термопластичних матеріалів : монографія / [О. П. Бурмістенков, В. П. Місяць, І. В. Панасюк, Б. М. Злотенко]. – К. : Кафедра, 2012. – 240 с. – ISBN 978-966-2071-20-2.
11. Рубанка М. М. Відходи легкої промисловості, способи переробки і області подальшого

використання / М. М. Рубанка, В. П. Місяць // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 4 (88). – С. 34–39.

12. Саленко Ю. С. Обладнання для подрібнення матеріалів: дробарки та млини : навч. посібник / Ю. С. Саленко. – Кременчук : КДПУ, 2008. – 100 с.

13. Борщев В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы : учебное пособие / В. Я. Борщев. – Тамбов : ТГТУ, 2004. – 75 с.

14. Рубанка М. М. Експериментальні дослідження динаміки роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості / М. М. Рубанка, В. П. Місяць // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки". – 2016. – № 1 (94). – С. 27–35.

15. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М. П. Белов, А. Д. Новиков. – 3-е изд. доп. и перераб. – М. : Академия, 2007. – 576 с.

16. Асинхронные двигатели серии 4А : справочник / [А. Э. Кравчик, М. М. Делаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.

References

1. Lobacheva G.K., Zheltobryukhov V.F., Prokopov I.I., Fomenko A.P. The state of the question of waste and modern methods of processing. Volgograd: VolGU, 2005. 176 p.
2. Semenov V.F., Mikhailyuk O.L., Galushkina T.P. Ecological management; edited by V.F. Semenov, O.L. Mykhailiuk. K.: Center for Educational Literature, 2004. 407 p.
3. Grinin A.S., Novikov V.N. Industrial and household waste: Storage, utilization, processing. M.: FAIR-PRESS, 2002. 336 p.
4. Petruk V.G., Vasylykivsky I.V., Ishchenko V.A., Petruk R.V. Waste management and management. Part 4. Technologies of processing of solid household waste. Vinnytsia: VNTU, 2013. 234 p.
5. Shtripling L.O., Turenko F.P. Fundamentals of wastewater treatment and solid waste processing. Omsk, 2005. 192 p.
6. Krivoshein D.A., Dmitrenko V.P., Fedotova N.V. Fundamentals of environmental safety of production: textbook. Manual. StP, 2015. 336 p.
7. Savitsky V.M., Khilchevsky V.K., Churnaryov O.V., Yatsyuk M.V. Wastes of production and consumption and their impact on soils and natural waters. Kyiv: Publishing and Printing Center "Kyiv University", 2007. 152 p.
8. Smetanin V.I. Protection of the environment from production and consumption wastes. M.: Колос, 2000. 232 p.
9. Klinkov A.S., Belyaev P.S., Sokolov M.V. Utilization and secondary processing of polymeric materials: textbook. Tambov: TSTU, 2005. 80 p.
10. Burmistenkov O.P., Misiats V.P., Panasyuk I.V., Zlotenko B.M. Processing of rubber waste and thermoplastic materials. K.: Cathedra, 2012. 240 p. ISBN 978-966-2071-20-2.
11. Rubanka M.M., Misiats V.P. Waste of light industry, types of recycling and the follow-use. Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. 2015. № 4 (88). P. 34–39.
12. Salenko Y.S. Equipment for grinding materials: crushers and mills. Kremenchuk: KDPU, 2008. 100 p.
13. Borshchev V.Ya. Equipment for grinding materials: crushers and mills. Tambov: TSTU, 2004. 75 p.
14. Rubanka M.M., Misiats V.P. Experimental researches of rotor crusher dynamics are for recycling of light industry wastes. Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. "Technical Sciences" series. 2016. № 1 (94). P. 27–35.
15. Belov M.P., Novikov A.D. Automated electric drive of standard production mechanisms and technological complexes. 3rd ed., Ext. and rework. M.: Academic, 2007. 576 p.
16. Kravchik A.E., Delaf M.M., Afonin V.I., Sobolenskaya E.A. Series 4A Induction Motors: Handbook. M.: Energoizdat, 1982. 504 p.

Надійшла/Paper received : 21.02.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, Ю.В. КИРИЧУК, Н.М. НАЗАРЕНКО

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

А.Г. ТКАЧУК

Державний університет «Житомирська політехніка»

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ДВОКАНАЛЬНИЙ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГРАВИМЕТР АГС

Стаття посвячена отриманню основного робочого рівняння руху двоканального п'єзоелектричного гравіметра авіаційної гравіметричної системи. Описано принцип дії нового двоканального п'єзогравіметра, зображено його структурну схему. Показано, що реальним є досягнення більшої точності п'єзогравіметра АГС (0,5 мГал) шляхом компенсації похибок від впливу вертикального прискорення (у 10^3 раз перевищує корисний сигнал) та інструментальних похибок та похибок від залишкової неідентичності двох каналів.

Ключові слова: п'єзоперетворювач, математична модель, двоканальний п'єзогравіметр.

OLENA BEZVESILNA, YURIY KYRYCHUK, NATALIA NAZARENKO

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

ANDREW TKACHUK

Zhytomyr Polytechnic State University

AUTOMATED TWO-CHANNEL PIEZOELECTRIC GRAVIMETER AGS

The purpose of the article is to obtain the basic working equation of motion of a dual-channel piezoelectric gravimeter of the aviation gravimetric system; to prove that a new dual-channel piezoelectric gravimeter has greater accuracy than the known ones.

Today, piezoelectric transducers are used to determine the internal defects of solids with the help of ultrasonic waves, to measure the speed of ultrasound, as well as in medicine, mechanical engineering, geophysics, etc. Intensive development of new types of piezoelectric transducers is also carried out in Ukraine.

The scientific works of Ukrainian scientists consider the use of piezoelectric transducers only as accelerometers but do not indicate the possibility of their use as dual-channel aviation gravimeters for measuring the acceleration of gravity. From the above review of prominent scientific works, it is clear that there is no information as to the use of the physical phenomenon of the direct piezoelectric effect to create a dual-channel gravity AGS more accurate than a known one.

Improving the measurement accuracy in the automated dual-channel piezogravimeter is provided by the fact that the second measurement channel is created. To do this, the sensing element is made with two channels. The output electrical signals of the piezoelectric plates of both channels are summed in the adder. The output signal from the adder is fed to the device for calculating the output signal of the gravimeter (on-board computer), where it is calculated for a certain time interval. As a result, we get the output that contains a double signal of gravity acceleration. It is completely free of such measurement errors, which are caused by the influence of vertical acceleration, instrumental errors and errors from the non-identity of the two channels.

The principle of operation of the new dual-channel piezogravimeter is described, its structural scheme is shown. It is shown that it is realistic to achieve greater accuracy of the piezogravimeter AGS (0.5 mGal) by compensating for errors from the influence of vertical acceleration (10^3 times the useful signal) and instrumental errors and errors from the residual non-identity of the two channels.

Keywords: piezoelectric transducer, mathematical model, dual-channel piezogravimeter

У літературі [1–17 та ін.] немає опису основного робочого рівняння руху нового двоканального п'єзоелектричного гравіметра (ДПГ) авіаційної гравіметричної системи (АГС). Тому мета даної статті – отримати математичну модель ДПГ.

Мета статті: отримати основне робоче рівняння руху ДПГ АГС; показати, що новий ДПГ має більшу точність від відомих.

Огляд наукових праць, присвячених п'єзоперетворювачам

Сьогодні п'єзоперетворювачі використовують для визначення внутрішніх дефектів твердих тіл за допомогою ультразвукових хвиль, для вимірювання швидкості ультразвуку, а також у медицині, машинобудуванні, геофізиці та ін. Інтенсивні розробки нових типів п'єзоперетворювачів проводяться і в Україні. Сьогодні відомі наступні наукові праці українських учених.

У підручниках Шарапова В.М. [5, 6] та у статтях [7–9] наведено інформацію про п'єзоелектричні перетворювачі для вимірювання різних фізичних величин. Особливу увагу приділено п'єзоелектричним акселерометрам. Однак, відсутня інформація про можливість використання п'єзоелектричних акселерометрів у ролі авіаційних гравіметрів для вимірювань прискорення сили тяжіння (ПСТ).

У роботі Кошового М.Д. [10] розглянуто способи розташування електродів між шарами п'єзоелементів, які утворюють п'єзоелектричну активну ділянку, працюючу на прямому та зворотному повздовжньому п'єзоэффекті. Але немає відомостей щодо побудови двоканальних п'єзогравіметрів АГС.

У монографії Петренка С.Ф. [11] описано нові типи п'єзоелектричних двигунів, принцип їх роботи та особливості конструкції. Але не обґрунтовано доцільність використання п'єзоэффекту у конструкціях двоканальних датчиків для вимірювань ПСТ.

У підручнику Володарського Є.Т. та Кухарчука В.В. [12] розглянуто використання п'єзоелектричних перетворювачів лише у якості акселерометрів, але не вказано на можливості їх використання у якості двоканальних авіаційних гравіметрів для вимірювань прискорення ПСТ.

У статті Рибіцького І.В. [13] проведено аналіз проблем, які виникають при розробці

безконтактних ультразвукових п'єзоперетворювачів. Проте, не вказано на можливості їх використання в якості двоканальних авіаційних гравіметрів для вимірювань прискорення ПСТ.

У роботах Ткачука А.Г., Безвесільної О.М. [14, 15] надано відомості щодо одноканального п'єзогравіметра АГС. Однак, точність його (1 мГал) бажано було б підвищити. Це актуально для сучасних вимірювань.

Використання датчиків на основі прямого та зворотного п'єзоефектів у різних галузях науки і техніки описано також і у роботах закордонних учених.

У довіднику Дж. Фрайдена [16] для вимірювання прискорення рекомендовано використовувати п'єзоакселерометри. Вказано їх переваги над іншими типами акселерометрів. Але не розглянуто можливість використання п'єзоакселерометрів для вимірювань низькочастотних вібраційних прискорень. Не вказано на можливість застосування п'єзоакселерометрів у якості двоканальних гравіметрів АГС.

Із наведеного огляду відомих наукових праць видно, що відсутня будь-яка інформація про використання фізичного явища прямого п'єзоефекту для побудови двоканального гравіметра АГС більшої точності від відомих.

Основне робоче рівняння руху ДПГ

Новий автоматизований двоканальний п'єзогравіметр, містить пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра та чутливий елемент, що містить п'єзопластини (рис. 1). Чутливий елемент виконано з двома каналами, в кожному з яких встановлено по одному п'єзоелементу, що є ідентичними і виконані у вигляді п'єзопластин та інерційної маси, що закріплені одне на одному, причому п'єзоелемент одного каналу розташовано п'єзопластинами вниз, а п'єзоелемент іншого каналу розташовано п'єзопластинами вгору, причому виходи п'єзопластин обох каналів з'єднані з входами суматора, вихід якого з'єднаний із входом пристрою обчислення вихідного сигналу гравіметра, щоб забезпечити підвищення точності вимірювань гравітаційного прискорення.

Підвищення точності вимірювання в автоматизованому двоканальному п'єзогравіметрі забезпечується за рахунок того, що створено другий канал вимірювання. Для цього чутливий елемент виконано з двома каналами. П'єзоелемент одного каналу, що встановлений інерційною масою на п'єзопластинах, працює на стиснення. Ідентичний йому п'єзоелемент іншого каналу, що встановлений інерційною масою під п'єзопластинами, працює на розтяг. Вихідні електричні сигнали п'єзопластин обох каналів сумуються у суматорі. Результуючий корисний електричний сигнал буде пропорційним подвоєному сигналу гравітаційного прискорення. Отже, завдяки використанню додатково введенного другого каналу вимірювання, забезпечується відсутність у вихідному сигналі нового двоканального п'єзогравіметра сигналів похибок від впливу вертикального прискорення, від залишкової неідентичності конструкцій однакових п'єзопластин та мас, від інструментальних похибок (впливи зміни температури, вологості та тиску зовнішнього середовища), які можуть бути значними.

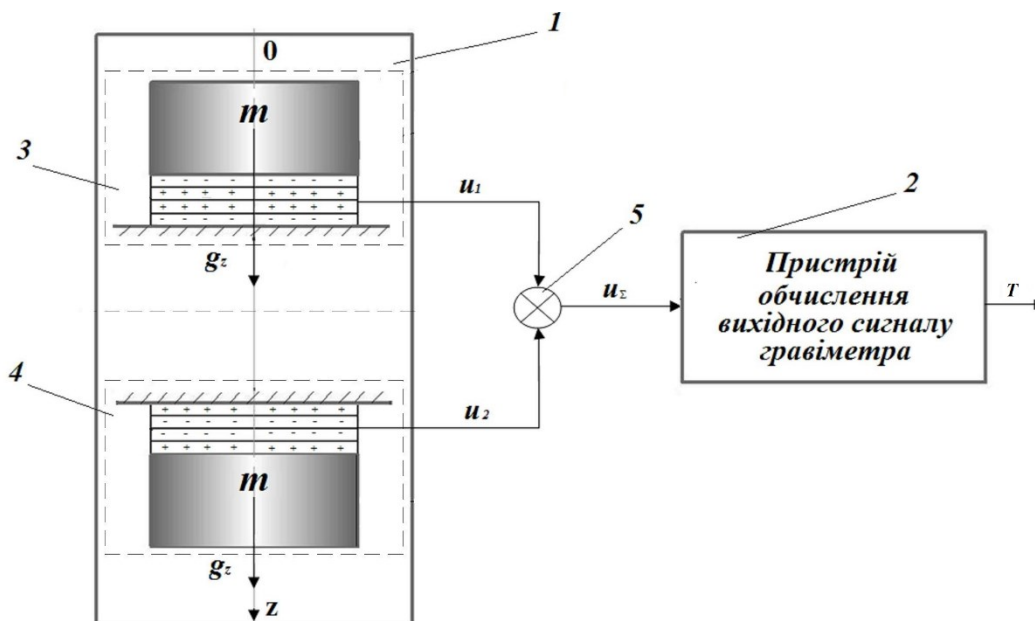


Рис. 1. Автоматизований двоканальний п'єзоелектричний гравіметр [14]

Таким чином, запропонований двоканальний п'єзогравіметр забезпечує суттєве підвищення точності вимірювання гравітаційного прискорення.

Принцип дії нового гравіметра пояснюється на рис. 1, де зображено структурну схему нового автоматизованого двоканального п'єзогравіметра.

У двоканальному п'єзогравіметрі чутливий елемент 1 виконано з двома каналами, в кожному з яких встановлено по одному п'єзоелементу. П'єзоелементи обох каналів є ідентичними і виконані у вигляді

п'єзопластин та інерційної маси, що закріплені одне на одному. П'єзоелемент 3 одного каналу розташовано п'єзопластинами вниз, а п'єзоелемент 4 іншого каналу розташовано п'єзопластинами вгору. Виходи п'єзопластин обох каналів з'єднані з входами суматора 5, вихід якого з'єднаний із входом пристрою 2 обчислення вихідного сигналу гравіметра.

Двоканальний п'єзогравіметр працює наступним чином.

На п'єзоелементи обох каналів діє гравітаційне прискорення g_z , вертикальне прискорення $\Delta \ddot{z}$ літака та інструментальні похибки Δi від впливу залишкової неідентичності конструкцій однакових п'єзопластин та мас, від впливу зміни температури, вологості та тиску зовнішнього середовища. Якщо спроектувати всі ці впливи на вимірювальну вісь Oz гравіметра та врахувати те, що п'єзоелемент 3 одного каналу працює на стиснення, а п'єзоелемент 4 іншого каналу – на розтяг, то отримаємо [17]:

$$\begin{aligned} u_1 &= k(mg_z + m\Delta \ddot{z} + \Delta i); \\ u_2 &= k(mg_z - m\Delta \ddot{z} - \Delta i), \end{aligned} \quad (1)$$

де u_1 – вихідний електричний сигнал п'єзопластин одного каналу;

u_2 – вихідний електричний сигнал п'єзопластин іншого каналу;

m – вага інерційної маси у кожному каналі;

k – п'єзоелектрична стала.

Вихідні електричні сигнали u_1 та u_2 п'єзопластин обох каналів сумуються у суматорі 5:

$$u_\Sigma = u_1 + u_2 = 2kmg_z, \quad (2)$$

де u_Σ – вихідний сигнал суматора 5.

Вихідний сигнал u_Σ суматора 5 подається у пристрій 2 обчислення вихідного сигналу гравіметра (бортовий комп'ютер), де він обчислюється за певний інтервал часу. У кінцевому результаті отримуємо вихідний сигнал Т пристрою 2 обчислення вихідного сигналу гравіметра, який містить подвоєний сигнал ПСТ. У ньому повністю відсутні такі похибки вимірювань, які спричинені впливом вертикального прискорення $\Delta \ddot{z}$, інструментальних похибок та похибок від неідентичності двох каналів Δi . Отже, точність автоматизованого двоканального п'єзогравіметра буде значно вищою.

Висновки

Для суттєвого покращення точності АГС запропоновано новий автоматизований двоканальний п'єзогравіметр. Показано, що реальним є досягнення більшої точності п'єзогравіметра АГС (0,5 мГал) шляхом компенсації похибок від впливу вертикального прискорення (у 103 раз перевищує корисний сигнал) та інструментальних похибок та похибок від залишкової неідентичності двох каналів.

Література

1. Безвесільна О. М. Вимірювання гравітаційних прискорень / О. М. Безвесільна. – Житомир : ЖІТІ, 2002. – 264 с.
2. Безвесільна О. М. П'єзоелектричний гравіметр авіаційної гравіметричної системи : монографія / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук. – Житомир : ЖДТУ, 2013. – 240 с.
3. Bezvesilnaya E. N. Gravimeter of aviation gravimetric system / E.N. Bezvesilnaya, A. G. Tkachuk, K. S. Kozko // The advanced science journal (USA). – 2013. – № 4. – Р. 41–46.
4. Безвесільна О. М. Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння / О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук // Вісник ЖДТУ // Технічні науки. – 2012. – № 4 (63). – С. 61–65.
5. Шарапов В. М. Пьезоэлектрические датчики / Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. – Москва : Техносфера, 2006. – 632 с.
6. Датчики : справочное пособие/ [Шарапов В. М., Полищук Е. С., Кошевой Н. Д. и др.] ; под ред. В.М. Шарапова, Е. С. Полищука. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с.
7. Пьезокерамические трансформаторы и датчики / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, Ж. В. Сотула, К.В. Базило, Л. Г. Куницкая / под ред. В. М. Шарапова. – Черкассы : Вертикаль, 2010. – 278 с.
8. Шарапов В. М. Технологии синтеза пьезокерамических датчиков / В.М. Шарапов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2010. – № 3. – С. 90–96.
9. Шарапов В. М. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования / В.М. Шарапов, Ж. В. Сотула // Электроника НТБ. – 2012. – № 5. – С. 96–102.
10. Пат. 54009 Україна, МПК F02M 51/00. П'єзопривід / Кошовий М. Д., Стрілець О. О. – №u201004629 ; заяв. 19.04.2010 ; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
11. Петренко С.Ф. П'єзоелектричний двигун в приладобудуванні : монографія / С. Ф. Петренко. – К. : Корнійчук, 2002. – 96 с.
12. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В. В. Кухарчук, Є.Т. Володарський, В. Ю. Кучерук, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
13. Рибіцький І. В. Математична модель узгоджуючого шару п'єзоперетворювача та розрахунок втрат енергії акустичних коливань при безконтактному способі вимірювання товщини / І.В. Рибіцький //

Методи та прилади контролю якості. – 2007. – № 18. – С. 46–51.

14. Безвесільна О. М. Чутливий елемент п'єзоелектричного гравіметра авіаційної гравіметричної системи / О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – № 3-4. – С. 283–289.

15. Безвесільна О. М. Фізичні принципи роботи п'єзоелектричного гравіметра авіаційної гравіметричної системи / О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук // Вісник Інженерної академії України. – 2013. – № 2. – С. 18–21.

16. Фрайден, Дж. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.

17. Безвесільна О.М. П'єзоелектричний гравіметр авіаційної гравіметричної системи : монографія / О. М. Безвесільна, А.Г. Ткачук. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – 604 с.

References

1. Bezvesilna O. M. Measurement of gravitational accelerations / O. M. Bezvesilna. – Zhytomyr: ZhITI, 2002. – 264 p.
2. Bezvesilna O. M. Piezoelectric gravimeter of aviation gravimetric system: monograph / O. M. Bezvesilna, A. G. Tkachuk. – Zhytomyr: ZhSTU, 2013. – 240 p.
3. Bezvesilnaya E. N. Gravimeter of aviation gravimetric system / E.N. Bezvesilnaya, A. G. Tkachuk, K. S. Kozko // The advanced science journal (USA). – 2013. – №4. – P. 41–46.
4. Bezvesilna O. M. Aviation gravimetric system for measuring anomalies of gravity acceleration / O. M. Bezvesilna, A. G. Tkachuk // Bulletin of ZhSTU / Technical sciences. – 2012. – №4 (63). – P. 61–65.
5. Sharapov V. M. Piezoelectric sensors / Sharapov V. M., Musienko M. P., Sharapova E. V. – Moscow: Technosphaera, 2006. – 632 p.
6. Sensors: Reference manual / [Sharapov V. M., Polishchuk E. S., Koshevoy N. D., etc.]; ed. V. M. Sharapova, E. S. Polishchuk. – Moscow: Technosphaera, 2012. – 624 p.
7. Piezoceramic transformers and sensors / V. M. Sharapov, I. G. Minaev, Zh. V. Sotula, K. V. Bazilo, L. G. Kunitskaya / ed. V. M. Sharapova. – Cherkasy: Vertical, 2010. – 278 p.
8. Sharapov V. M. Technologies for the synthesis of piezoceramic sensors / V. M. Sharapov // Bulletin of Cherkasy State Technological University. – 2010. – №3. – P. 90–96.
9. Sharapov V. M. Piezoceramic transducers. New design technologies / V. M. Sharapov, Zh. V. Sotula // NTB Electronics. – 2012. – №5. – P. 96–102.
10. Pat. 54009 Ukraine, IPC F02M 51/00. Piezo drive / Koshovy M. D., Sagittarius O. O. – №u201004629; application. 19.04.2010; publ. 25.10.2010, Bull. № 20.
11. Petrenko S. F. Piezoelectric engine in instrument making: monograph / S. F. Petrenko. – K.: Kornijchuk, 2002. – 96 p.
12. Kukharchuk V. V. Fundamentals of metrology and electrical measurements: tutorial / V. V. Kukharchuk, Ye. T. Volodarsky, V. Yu. Kucheruk, V. V. Grabko. – Vinnytsia: VNTU, 2012. – 522 p.
13. Rybitskyj I. V. Mathematical model of the matching layer of a piezoelectric transducer and calculation of energy losses of acoustic oscillations in the contactless method of thickness measurement / I. V. Rybitskyj // Methods and devices of quality control. – 2007. – №18. – P. 46–51.
14. Bezvesilna O. M. Sensitive element of the piezoelectric gravimeter of the aviation gravimetric system / O. M. Bezvesilna, A. G. Tkachuk // Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – 2012. – №3-4. – P. 283–289.
15. Bezvesilna O. M. Physical principles of operation of the piezoelectric gravimeter of the aviation gravimetric system / O. M. Bezvesilna, AG Tkachuk // Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. – 2013. – №2. – P. 18–21.
16. Freiden J. Modern sensors: Handbook / J. Freiden. – M.: Technosphaera, 2005. – 592 p.
17. Bezvesilna O. M. Piezoelectric gravimeter of aviation gravimetric system: monograph / O. M. Bezvesilna, A. G. Tkachuk. – Zhytomyr: ZhSTU, 2007. – 604 p.

БЕЗВЕСІЛЬНА О.М.
КИРИЧУК Ю.В.
ТКАЧУК А.Г.
НАЗАРЕНКО Н.М.

ORCID: 0000-0002-6951-1242
ORCID: 0000-0001-8638-6060
ORCID:0000-0003-2466-6299

o.bezvesilna@gmail.com
kirichuky@gmail.com
andru_tkachuk@ukr.net
N_Nazarenko@kpi.ua

Надійшла/Paper received : 13.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

Г.І. БАРИЛО, І.І. ГЕЛЬЖИНСЬКИЙ,
Р.Л. ГОЛЯКА, Т.А. МАРУСЕНКОВА, М.О. ХІЛЬЧУК
Національний університет «Львівська політехніка»

ВБУДОВАНА СИСТЕМА КОНВЕРТЕРА НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СВІТЛОДІОДІВ

Робота присвячена проблемі розроблення вбудованої системи керування живленням органічних світлодіодів (OLED) з розширеною функціональною можливістю, а саме – з вбудованою можливістю вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) структур безпосередньо в процесі їх експлуатації. Вимірювання ВАХ OLED структур проводиться на перехідних процесах формування напруги у підвищувальних схемах драйверів. Модельним дослідженнями показано умови функціонування підвищувального драйверу живлення OLED з in-situ вимірюванням його ВАХ. У відповідності до результатів модельних досліджень та вимог до реалізації пристроїв сучасної електроніки розроблена вбудована система конвертера напруги живленням OLED структур. Основою розробленого конвертера є програмована система на кристалі PSoC сімейства 5LP Family Cypress Semiconductor Corporation.

Ключові слова: вбудована система, конвертер напруги живлення, драйвер органічного світлодіода.

HRYNORII I. BARYLO, IGOR I. HELZHYNSKYI, ROMAN L. HOLYAKA, TETIANA A. MARUSENKOVA,
MYKOLA O. KHILCHUK
Lviv Polytechnic National University

EMBEDDED SYSTEM FOR SUPPLY VOLTAGE CONVERTER OF ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODE

The work is dealing with the problem of developing an embedded system for supply voltage converter of Organic Light-Emitting Diode (OLED) with advanced built-in ability to measure the volt-ampere ($I - V$) characteristics of structures directly during their operation. This feature is crucial in the development of a new generation of intelligent OLED controllers, which in relation to known solutions, are characterized by reduced power consumption and increased speed of periodic or continuous measurement of the $I - V$ characteristics of OLED structures. On the basis of such measurement the drift of characteristics of OLED structures in the course of their operation is carried out, and therefore, the possibility of operative correction of their power modes is provided. The measurement of $I - V$ characteristics of OLED structures is performed on the transients of voltage generation in the boost circuits of the drivers. To meet the requirements for such measurements, the parameters of the transient pulses must meet certain criteria. The pulse amplitude should be sufficient to scan the $I - V$ characteristics of OLED structures in the whole range of their possible operation, and the shape and rise time should be optimal from the point of view of further detection of these $I - V$ patterns, in particular, regarding their drift in temperature modulation or OLED structure degradation. In a number of tasks scanning and measurement of $I - V$ characteristics should be fast enough to prevent heating, but acceptable for high-precision analog-to-digital conversion. The parameters of the pulses provide the ability to measure the thermal parameters of thermal resistance and its dependence on the duration of heating. The controller is implemented on the basis of programmable systems on the chip, namely on the PSoC 5LP.

Key words: Embedded System, Supply voltage converter, OLED driver

Постановка проблеми

Вбудовані системи становлять основу реалізації широкого ряду апаратно-програмних рішень динамічно реконфігурованих схемних вузлів та функціонально завершених систем керування [1]. Вимогами до них є функціонування при низьких напругах живлення, мінімальне енергоспоживання, універсальність, стабільність функціонування при зміні зовнішніх факторів, rail-to-rail режими роботи тощо. Для забезпечення керування живленням органічних світлодіодів виникає потреба у створенні систем з розширеною функціональною можливістю, а саме – з вбудованою можливістю вимірювання дрейфу характеристик OLED структур безпосередньо в процесі їх експлуатації.

Аналіз останніх джерел

Основним призначенням контролерів світлодіодів є стабілізація режимів їх живлення, для реалізації якої, здебільшого, використовують схеми підвищення напруги. Використання таких схем обумовлено необхідністю підвищувального перетворення напруги низьковольтних джерел, зокрема, електрохімічних елементів (здебільшого, напругою до 3 В) чи шин живлення USB, Wi-Fi, Bluetooth інтерфейсів (напругою від 3 до 5 В) у напругу живлення світлодіодів понад 5 В (в залежності від типу світлодіода). Особливо актуальним таке підвищувальне перетворення має місце при розробленні контролерів OLED структур, напруга живлення яких може сягати 10..15 В. Схеми, що забезпечують стабілізацію режимів живлення світлодіодів отримали назви підвищувальні драйвери та конвертери – Boost LED Driver [2], Boost Converter [3], Buck-Boost Converter [4].

Предметом дослідження в цій галузі є підвищення коефіцієнту перетворення напруги живлення [2], паралельні режими роботи в інтегрованих конвертерах [3], підвищення ефективності перетворення з поєднанням перемикачів індуктивних та ємнісних компонентів [4], функціонування конвертерів при гранично низьких напругах живлення [5], реалізація контролерів світлодіодів для стандарту телекомунікації Visible Light Communication (IEEE 802.15.7) [6], режими перетворення в підвищувальних конвертерах з самоосциляцією [7] та балансуванням [8], особливості конвертерів для задач вуличного освітлення в модульній конфігурації [9]. Проблематика та реалізація конвертера живлення OLED структур

представлена в [10]. Проблема нестабільності та деградації параметрів OLED структур в процесі їх експлуатації представлена в [11], а питання моделювання характеристик OLED структур з врахуванням їх нестабільностей – в [12]. Корекція режимів живлення та розроблення схем компенсації дрейфу OLED структур розглянута в [13]. Реалізація OLED драйвера з використанням схеми зворотного зв'язку є предметом дослідження в роботі [14].

Відтак, аналіз сучасної літератури вказує значну актуальність задач подальшого розвитку контролерів керування живленням органічних світлодіодів. При цьому важливим є реалізація розширених функціональних можливостей цих контролерів, в основі яких лежить оперативна корекція режимів живлення. Як буде показано в даній роботі, важливою складовою такої корекції є вбудована функція періодичного вимірювання вольт-амперної характеристики (BAX) OLED структур, що дозволяє вирішити проблему in-situ відстеження часового та температурного дрейфу їх параметрів. В свою чергу, вирішення вказаної проблеми забезпечує підвищення ефективності використання OLED структур та надійності їх експлуатації.

Метою роботи є побудова системи керування живленням органічних світлодіодів з розширеною функціональною можливістю на основі PSoC сімейства 5LP Family Cypress Semiconductor Corporation..

Виклад основного матеріалу

В даній роботі представлено нове рішення побудови OLED контролера, новизною якого є поєднання процесу підвищення напруги в схемі драйвера та одночасного in-situ [15] вимірювання характеристик OLED в ході наростання та спадання імпульсів цієї напруги. Ця можливість є визначальною при розробці нового покоління інтелектуальних OLED контролерів, які по відношенню до відомих рішень, характеризуються зменшеним енергоспоживанням та підвищеною швидкістю періодичного чи неперервного вимірювання BAX OLED структур. На основі такого вимірювання проводиться прогнозування дрейфу характеристик OLED структур в процесі їх експлуатації, а відтак, забезпечується можливість оперативної корекції їх режимів живлення.

Вимірювання BAX OLED структур проводиться на перехідних процесах формування напруги у підвищувальних схемах драйверів. Для забезпечення вимог щодо таких вимірювань, параметри імпульсів перехідних процесів повинні відповідати певним критеріям. Амплітуда імпульсів має бути достатньою для сканування BAX OLED структур у всьому діапазоні їх можливого функціонування, а форма та час наростання – оптимальними з точки зору подальшого виявлення закономірностей цих BAX, зокрема, щодо їх дрейфу в процесі модуляції температури чи деградації параметрів OLED структури. Мова йде про забезпечення компромісних вимог – в ряді задач сканування та вимірювання BAX повинні бути достатньо швидкими для запобігання нагріву, але прийнятливими для високоточного аналого-цифрового перетворення. В інших задачах параметри імпульсів повинні забезпечувати можливість дослідження теплових параметрів – теплового опору та його залежності від тривалості нагріву. Предметом таких досліджень може бути деградація параметрів OLED, в ході яких формуються масиви даних багаторазових вимірювань.

Узагальнюючи можливі рішення щодо формування напруги у підвищувальних схемах драйверів, розглянемо форми імпульсів у фазах наростання чи спадання яких проводять вимірювання BAX OLED структур (рис. 1). Вимірювання BAX проводиться в процесі наростання чи спадання напруги живлення. Часові інтервали цих процесів показані потовщеними лініями. Імпульси з лінійним наростанням чи спаданням (A) забезпечують рівномірний розподіл даних по всій BAX, однак їх формування пов'язано з додатковими структурно-схемними затратами. Натомість, імпульси з експоненціальним (B), логарифмічним (C) наростанням та спаданням, чи їх комбінаціями (D), є більш притаманними для елементарних кіл генерування, зокрема на ланках RC чи LC компонентів. Форма таких імпульсів, зокрема залежність напруги від часу $U(t)$ описується аналітичними виразами:

$$U(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

де E – напруга живлення, U_0 – початковий рівень напруги, τ – постійна часу.

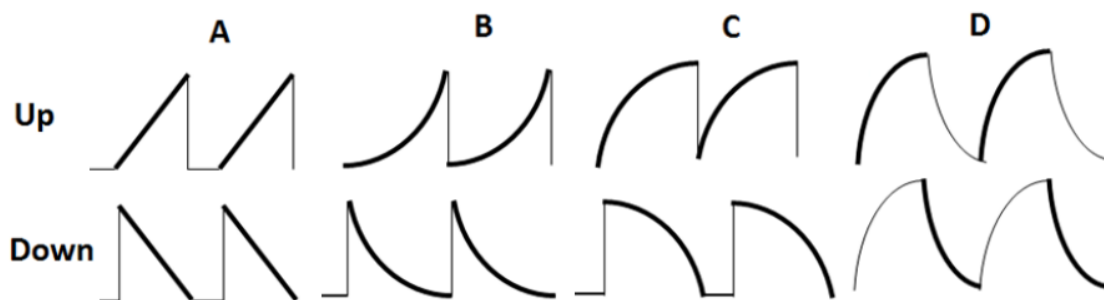


Рис. 1. Форми імпульсів в процесі вимірювання BAX

Більш складні форми імпульсів формуються на ланках RCLC компонентів, які можуть реалізовуватися в підвищувальних схемах драйверів живлення OLED. Зокрема, на рис. 2 представлені

результати модельних досліджень схем, що містять коло заряду конденсатора C1 (VE, R1, C1) та індуктивність L1, яка ключем S1 комутується на резистор навантаження R2. В даних прикладах: R1 = 100 Ом, R2 = 10 Ом, C1 = 1E-5 Ф (1), 1E-4 Ф (2), 1E-3 Ф (3).

В такій схемі формування імпульсів поєднуються два процеси – неперервний заряд C1 через R1 та періодичний розряд C1 через L1, R2. Перший з цих процесів є повільним та визначається постійною часу $\tau_1 = R_1 C_1$, в тому числі енергетичними характеристиками джерела живлення схеми. Натомість другий процес є швидким і визначається постійною часу $\tau_2 = R_2 L_1$ та частотою імпульсів перемикання ключа S1. Отримані епюри сигналів демонструють характерні перехідні процеси передачі реактивної енергії, які при певних умовах переходять в затухаючі коливання. Можна бачити, що картина цих процесів відрізняється від імпульсу до імпульсу, що свідчить про незавершеність передачі енергії за період імпульсів перемикання. Цей ефект повинен враховуватися при оптимізації режимів функціонування, як драйвера живлення, так і сигнального перетворювача вимірювання BAX OLED структур.

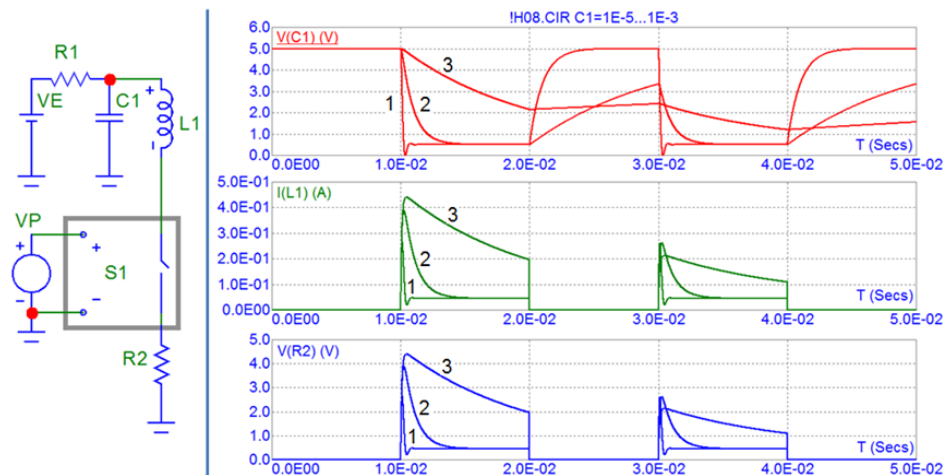


Рис. 2. Схема комутації RCLC ланки та епюри сигналів при L1 = 0.001 Гн

Експериментальні дослідження та приклади реалізації

У відповідності до отриманих результатів модельних досліджень та вимог щодо реалізації пристроїв сучасної електроніки була розроблена вбудована система керування живленням OLED структур, що забезпечує:

- одно- чи двостадійне підвищення напруги живлення;
- програмне керування режимом живленням OLED структур;
- мультирежимне вимірювання BAX OLED структур;
- керування режимами роботи OLED структур безконтактним ємнісним сенсором;
- передавання команд керування та результатів вимірювання через універсальну шину USB інтерфейсу.

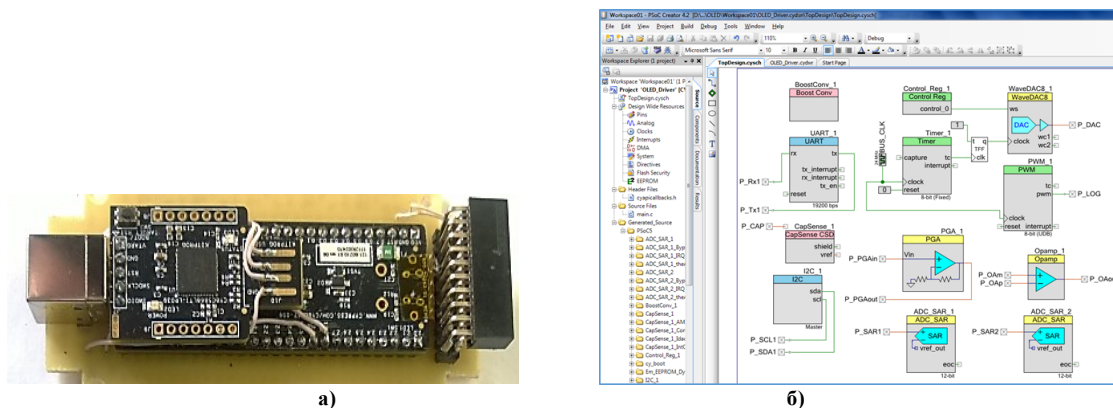


Рис. 3. Зовнішній вигляд (а) та конфігурація елементів (б) контролера на основі PSoc сімейства 5LP

Контролер реалізовано на базі програмованих систем на кристалі, а саме на PSoc сімейства 5LP Family Cypress Semiconductor Corporation [16] (рис. 3 а). Апаратно-програмна реалізація інтелектуального контролера OLED структур здійснена в інтегрованому середовищі розробки PSoc Creator. Конфігурація внутрішніх елементів PSoc представлена на рис.3 б. Розроблений універсальний контролер реалізується різноманітні алгоритми живлення та вимірювання BAX OLED структур, зокрема:

- формування підвищеної напруги живлення;
- керуванням інтенсивністю випромінювання;

- вимірювання BAX на перехідних процесах імпульсів живлення;
- вимірювання BAX з від'ємним зворотнім зв'язком за струмом;
- безконтактне ємнісне керування режимами живлення тощо.

Приклад результату вимірювання BAX OLED структури, що здійснюється вищерозглянутою вбудованою системою універсального контролера, показано на рис. 4.

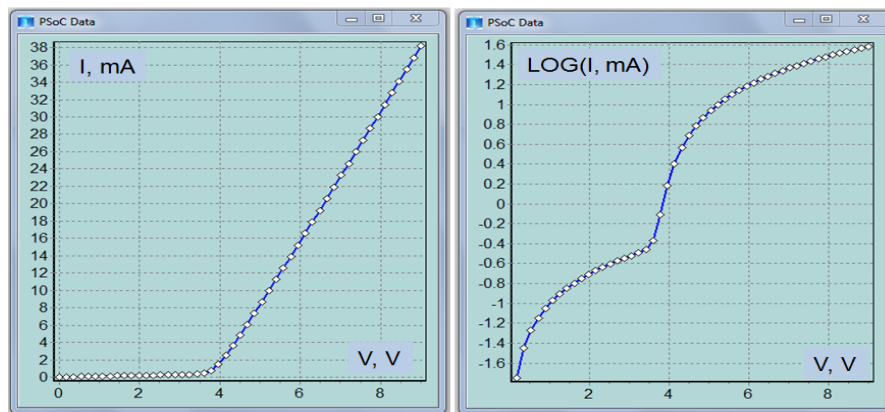


Рис.4. Приклад результату вимірювання OLED структури

Можливі інші варіанти застосування вузлів контролера, зокрема використання підсилювача з програмованим коефіцієнтом PGA, дозволяє розширити діапазони вимірюваних напруги та програмно керувати цими діапазонами. Простий варіант застосування передбачає відсутність від'ємного зворотного зв'язку за струмом. Більш складний варіант застосування передбачає алгоритм керування, в якому значення струму OLED структури визначається колом зворотного зв'язку на основі інформації про рівень світлового випромінювання чи параметри колірної температури.

Висновки

На основі модельних досліджень розроблено вбудовану систему керування живленням OLED структур, яка забезпечує: одно- чи двостадійне підвищення напруги живлення; програмне керування режимом живленням OLED структур; мультирежимне вимірювання BAX OLED структур; керування режимами роботи OLED структур безконтактним ємнісним сенсором; передавання команд керування та результатів вимірювання через універсальну шину USB інтерфейсу. На основі in-situ вимірювання BAX проводиться прогнозування дрейфу характеристик OLED структур в процесі їх експлуатації, а відтак, забезпечується можливість оперативної корекції їх режимів живлення.

References

1. Grygoriy Barylo, Oksana Boyko, Ihor Gelzynskyy, Roman Holyaka, Zenon Hotra, Tetyana Marusenkova, Mykola Khilchuk, Magdalena Michalska. Hardware and software means for electronic components and sensors research // IAPGOŚ Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska – 2020. No. 10(1). – PP. 66-71
2. Sang-Won Lee, Hyung-Jin Choe, Jae-Jung Yun. Performance Improvement of a Boost LED Driver With High Voltage Gain for Edge-Lit LED Backlights // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. – 2018. Volume 65, Issue 4. – PP. 481 – 485. DOI: 10.1109/TCSII.2017.2716442
3. Guirguis Z. Abdelmessih, J. Marcos Alonso, Nelson da S. Spode, Marco A. Dalla Costa. Electrolytic-Capacitor-less Off-Line LED Driver based on Integrated Parallel Buck-Boost and Boost Converter // 2020 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. – 2020. DOI: 10.1109/IAS44978.2020.9334804
4. Kei Eguchi, Akira Shibata, Farzin Asadi, Takaaki Ishibashi, Yujiro Harada, Ichirou Oota. Design of an LED Sink Driver Using a Switched-Inductor and Switched-Capacitor Buck-Boost Converter with High Voltage Gains // 2nd International Conference on Smart Power & Internet Energy Systems (SPIES) – 2020. DOI: 10.1109/SPIES48661.2020.9243052
5. Ignacio Castro, Aitor Vazquez, Daniel G. Aller, Manuel Arias, Diego G. Lamar, Javier Sebastián. On Supplying LEDs From Very Low DC Voltages With High-Frequency AC-LED Drivers // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2019. Volume 34, Issue 6. – PP. 5711 – 5719. DOI: 10.1109/TPEL.2018.2869795
6. Fengyu Che, Liang Wu, Babar Hussain, Xianbo Li, C. Patrick Yue. A Fully Integrated IEEE 802.15.7 Visible Light Communication Transmitter With On-Chip 8-W 85% Efficiency Boost LED Driver // Journal of Lightwave Technology. – 2016. Volume 34, Issue 10. – PP. 2419 – 2430. DOI: 10.1109/JLT.2016.2535319
7. David O. Bamgboje, William Harmon, Mohammad Tahan, Tingshu Hu. Low Cost High Performance LED Driver Based on a Self-Oscillating Boost Converter // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2019. Volume 34, Issue 10. – PP. 10021 – 10034. DOI: 10.1109/TPEL.2018.2890627
8. Xueshan Liu, Yuyang Wan, Zheng Dong, Mingzhi He, Qun Zhou, Chi K. Tse. Buck-Boost-Buck-Type Single-Switch Multistring Resonant LED Driver With High Power Factor and Passive Current Balancing // IEEE

Transactions on Power Electronics. – 2020. Volume 35, Issue 5. – PP. 5132 – 5143. DOI: 10.1109/TPEL.2019.2942488

9. Cassio Gobbato, Samuel Valerio Kohler, Ithalo Hespanhol de Souza, Gustavo Weber Denardin, Juliano de Pelegrini Lopes. Integrated Topology of DC–DC Converter for LED Street Lighting System Based on Modular Drivers // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2018. – Volume 54, Issue 4. – PP. 3881 – 3889. DOI: 10.1109/TIA.2018.2808905

10. Chun-Kai Chang, Chung-Hsin Su, Yung-Hua Kao, Ming-Hung Yu, Thilo Sauter, Paul C.-P. Chao. A new single inductor bipolar multiple output (SIBMO) boost converter using pulse frequency modulation (PFM) control for OLED drivers and optical transducers // Sixteenth International Symposium on Quality Electronic Design. - 2015. DOI: 10.1109/ISQED.2015.7085486

11. Frédérique Chesterman, Bastian Piepers, Tom Kimpe, Patrick De Visschere, Kristiaan Neyts. Impact of Long-Term Stress on the Light Output of a WRGB AMOLED Display // Journal of Display Technology. – 2016. Volume 12, Issue 12. – PP. 1672 – 1680. DOI: 10.1109/JDT.2016.2615871.

12. A. Rostami, H. Soofi. Modeling of Effective Host Mobility for the Simulation of Polymeric Host-Guest Light Emitting Diodes // Journal of Lightwave Technology. – 2014. Volume 32, Issue 5. – PP. 959 – 965. DOI: 10.1109/JLT.2013.2295322

13. Jinyuan Wen, Hing-Mo Lam, Chenglin Li, Dewei Zhang, Weiling Zeng, Hesheng Lin, Min Zhang. Design of a Peripheral-Circuit-Compensation Adjustable-Gamma-Voltage Driving Chip for OLED-on-Silicon Microdisplay // 2019 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC). – 2019. DOI: 10.1109/EDSSC.2019.8754321

14. S.J. Ashtiani, A. Nathan. A driving scheme for active-matrix organic light-emitting diode displays based on feedback // Journal of Display Technology. – 2006. Volume 2, Issue 3. – PP. 258 – 264. DOI: 10.1109/JDT.2006.875140

15. Zhi-Min Yuan, Bo Liu, Chun Lian Ong, Siang Huei Leong, Shiming Ang. In-Situ FH Measurement From Arbitrary Data Pattern // IEEE Transactions on Magnetics. – 2012. Volume 48, Issue 11. – PP. 4452 – 4454. DOI: 10.1109/TMAG.2012.2198631

16. PSoC® 5LP: CY8C52LP Family Datasheet: Programmable System-on-Chip. <http://www.cypress.com/documentation/datasheets/psoc-5lp-cy8c52lp-family-datasheet-programmable-system-chip-psoc>

БАРИЛО Г.І.

ORCID ID: 0000-0001-5749-9242

hryhorii.i.barylo@lpnu.ua

ГЕЛЬЖИНСЬКИЙ І.І.

ORCID ID: 0000-0002-1931-6991

ihor.i.helzhynskyi@lpnu.ua

ГОЛЯКА Р.Л.

ORCID ID: 0000-0002-7720-0372

roman.l.holiaka@lpnu.ua

МАРУСЕНКОВА Т.А.

ORCID ID: 0000-0003-4508-5725

tetiana.a.marusenkova@lpnu.ua

ХІЛЬЧУК М.О.

ORCID ID: 0000-0001-8579-9234

mykola.o.khilchuk@lpnu.ua

Надійшла/Paper received : 19.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ СЕНСОРА ТЕМПЕРАТУРИ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ НА ОСНОВІ КВАНТОВОЇ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ

Розгляд фізичних процесів у квантовій двобар'єрній гетероструктурі, яка є основою розбудови тунельно-резонансних діодів показав, що тунельно-резонансні діоди можна використовувати як сенсори температури з частотним вихідним сигналом. Використання приладів з від'ємним диференціальним опором дозволяють значно спростити конструкцію сенсорів температури в усьому діапазоні радіочастот, при якому в залежності від режимів роботи сенсора можна отримати вихідний сигнал як у формі гармонічних коливань, так і у формі імпульсних коливань спеціальної форми.

Дослідження характеристик сенсора базується на еквівалентній схемі тунельно-резонансного діода, яка враховує його ємнісні та індуктивні властивості. Вольт-амперна характеристика сенсора має спадну ділянку, що відповідає виникненню від'ємного диференціального опору на цій ділянці. Спадна ділянка виникає внаслідок зменшення струму, який проходить скрізь двобар'єрну квантову гетероструктуру, із збільшенням напруги. Спад струму відбувається за рахунок зменшення коефіцієнта прозорості потенціальних бар'єрів гетероструктури.

Розроблено математичну модель сенсора температури, на основі якої визначено аналітичні залежності зміни елементів еквівалентної схеми сенсора від температури, а також функції перетворення і чутливості. Показано, що основний внесок в зміни функції перетворення і чутливості сенсора вносить зміна від'ємного диференціального опору із зміною температури. Це, у свою чергу, приводить до різних показників вихідної частоти приладу. Чутливість сенсора змінювалась від 480 кГц/°C до 220 кГц/°C в діапазоні температур від -150 °C до 50 °C.

Ключові слова: квантова двобар'єрна гетероструктура, тунельно-резонансний діод, від'ємний диференціальний опір, частота.

A.V. OSADCHUK, V.S. OSADCHUK, I.O. OSADCHUK

Vinnitsia National Technical University

STUDY OF A FREQUENCY OUTPUT TEMPERATURE SENSOR BASED ON A QUANTUM HETEROSTRUCTURE WITH A NEGATIVE DIFFERENTIAL RESISTANCE

Physical processes in a quantum two-barrier heterostructure, which is the basis for the development of tunnel-resonant diodes, are considered. These studies have shown that tunnel resonance diodes can be used as temperature sensors with a frequency output signal. The use of devices with negative differential resistance makes it possible to significantly simplify the design of temperature sensors in the entire radio frequency range, at which, depending on the operating modes of the sensor, an output signal can be obtained both in the form of harmonic oscillations and in the form of impulse oscillations of a special form.

The study of the characteristics of the sensor is based on the equivalent circuit of the tunnel-resonant diode, which takes into account its capacitive and inductive properties. The current-voltage characteristic of the sensor has a falling section, which is responsible for the appearance of a negative differential resistance in this section. The descending section arises due to a decrease in the current that flows through the double-barrier quantum heterostructure, with an increase in voltage. A decrease in the current occurs due to a decrease in the transparency coefficient of the potential barriers of the heterostructure.

A mathematical model of the temperature sensor has been developed, on the basis of which the analytical dependences of the change in the elements of the equivalent circuit of the sensor on temperature, as well as the transformation function and sensitivity, have been determined. It is shown that the main contribution to changes in the conversion function and sensor sensitivity is made by the change in the negative differential resistance with a change in temperature. This, in turn, results in different readings of the instrument's output frequency. The sensor sensitivity was varied from 480 kHz/°C to 220 kHz/°C in the temperature range from -150 °C to 50 °C.

Keywords: quantum double-barrier heterostructure, tunnel-resonant diode, negative differential resistance, frequency.

Постановка проблеми

Використання досягнень сучасних технологій привело до значних успіхів у створенні різноманітних приладів контролю і керування виробничих процесів в усіх галузях промисловості [1, 4–8]. Проте отримання високих метрологічних характеристик апаратури контролю і керування досягається за рахунок підвищення її складності, габаритів, маси і вартості. Для подальшого суттєвого підвищення якості такої апаратури необхідно використовувати нові фізичні явища і пошук нових принципів реалізації пристроїв і сенсорів фізичних величин, які визначаються багатофункціональністю, малою споживаною потужністю, стабільністю характеристик, високою чутливістю, підвищеною швидкодією і надійністю [1–8].

Сенсори температури є одним із ключових класів сенсорів фізичних величин, які знайшли застосування в усіх технологічних процесах виробництва. Їх характеристики і параметри визначають якість виробництва продукції. Вказані вище переваги сенсорів температури можна отримати при використанні досягнень сучасної нанотехнології, що дозволяє створювати квантові гетероструктури. Використання квантових гетероструктур в якості сенсорів температури на основі тунельно-резонансних діодів дозволяє отримати від'ємний диференціальний опір та надвисокочастотні властивості цих приладів. Ці властивості тунельно-резонансних діодів дозволяють розбудову нового класу сенсорів температури, які працюють в режимі перетворення «температура-частота», що дає можливість значно покращити їх метрологічні показники [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Перспективним науковим напрямком у створенні сенсорів температури є дослідження в області сенсорів на основі напівпровідникових структур з від'ємним диференціальним опором. Сенсори температури з частотним виходом поєднують простоту і універсальність, які мають аналогові пристрої, з точністю і завадостійкістю, що характеризують сенсори з кодовим виходом. Подальше перетворення частотно-модульованого сигналу зводиться в основному до підрахунку періодів сигналу у продовж певного часу-операції, що за простотою і точністю перевищує всі інші методи аналого-цифрового перетворення. Слід підкреслити, що реактивні властивості та від'ємний диференціальний опір однозначно зв'язані між собою, а простота та багатофункціональність мікроелектронних структур з від'ємним диференціальним опором є перспективним напрямком при їх створенні та практичному використанні. Застосування принципу перетворення «температура-частота» на основі наноелектронних квантових гетероструктур з від'ємним диференціальним опором суттєво знижує собівартість інформаційно-вимірювальних систем, дозволяє значно зменшити масогабаритні характеристики сенсорів температури, підвищити точність і чутливість перетворення інформаційного сигналу, тобто температуру у частоту [10–17].

Постановка завдання

Метою роботи є створення та дослідження сенсора температури на основі тунельно-резонансного діода, який одночасно виступає як первинний сенсор температури, так і прилад з від'ємним диференціальним опором, на основі якого базується генератор сенсора. Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючих наукових джерел та обґрунтувати переваги застосування квантових гетероструктур з від'ємним диференціальним опором;
- 2) розрахувати основні характеристики сенсора температури, в яких враховано залежність властивостей тунельно-резонансного діода від температури;
- 3) зробити висновки з проведених досліджень.

Математична модель сенсора температури

Сенсор температури з частотним вихідним сигналом будується на основі квантової гетероструктури, що лежить в основі роботи тунельно-резонансного діода. Тому необхідно розглянути фізичний принцип роботи діода, залежність його параметрів від температури, розбудову генератора на його основі. Залежність вихідної частоти генератора від температури, а також визначити чутливість та її залежність від температури.

Тунельно-резонансний ефект, який лежить в основі роботи тунельно-резонансних діодів, виник на основі досягнень гетероепітаксальної технології, за допомогою якої створено квантово-розмірні структури. В таких структурах використовують хвильову природу носіїв заряду, тобто явище резонансного тунелювання електронів через послідовно розташовані напівпрозорі потенціальні бар'єри, розділені квантовими ямами. Це аналогічно резонансному проходженню фотонів через систему у напівпрозорих дзеркал, які утворюють інтерферометр Фабрі-Перо [18]. Основною структурою з резонансного тунелювання електронів є типова квантова гетероструктура AlAs-GaAs-AlAs. Омичні контакти до такої структури формуються з використанням сильно легованих n^+ - шарів напівпровідника GaAs, який має вузьку енергетичну зону в порівнянні з бар'єроутворюючими напівпровідниками AlAs. Потенціальні бар'єри і квантова яма між ними утворені 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. Прикладання зовнішньої напруги до електродів емітер-колектор квантової гетероструктури приводить до зміни кількості електронів, які тунелюють через потенціальні бар'єри і квантову яму, що приводить до зміни величини струму через структуру. При цьому резонансне тунелювання електронів приводить до різкої немонотонної залежності коефіцієнта прозорості від енергії електронів, причому енергетична ширина резонансної лінії залежить від параметрів квантово-розмірної структури. Це викликає появу спадної ділянки на вольт-амперній характеристиці тунельно-резонансного діода, що відповідає виникненню від'ємного диференціального опору у діоді. У випадку, коли енергія електронів починає перевищувати потенціальну енергію бар'єрів, струм різко зростає за експоненціальним законом від прикладеної зовнішньої напруги до діода. Цей якісний опис був експериментально підтверджений дослідженнями Л. Есакі [19] як для діодів, так і надграток з квантових гетероструктур.

Для отримання вольт-амперної характеристики тунельно-резонансного діода використовується рівняння Шредінгера у загальному вигляді [20]

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{\partial^2 \psi_n}{\partial \vec{r}^2} + U(\vec{r}) \psi_n(\vec{r}) = E(\vec{K}) \psi_n(\vec{r}) - E_n(0) \psi_n(\vec{r}), \quad (1)$$

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 при $K=0$. На основі рівняння (1) отримана функція щільності струму від прикладеної напруги, яка має назву функції Тцу-Есакі [21]

$$j = \frac{qm^*kT}{2\pi^2\hbar^3} \int_{E_c}^{\infty} T(E_z) \log \left[\frac{1 + \exp\left(\frac{E_f - E_z}{kT}\right)}{1 + \exp\left(\frac{E_f - E_z - qU}{kT}\right)} \right] dE_z, \quad (2)$$

де q – заряд електрона, m^* – ефективна маса електрона, \hbar – відносна стала Планка, k – стала Больцмана, T – абсолютна температура, E_f – рівень Фермі у зоні провідності емітера, E_c – рівень дна зони провідності емітера, E_z – енергія електрона у напрямку координати z , 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 [20]. 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. У нашому випадку двобар'єрної квантової гетероструктури коефіцієнт прозорості $T(E)$ набуває більш складного вигляду і являє собою добуток двох величин: T_E – для першого бар'єру або емітера і T_K – для другого бар'єру колектора, отже $T(E) = T_E \cdot T_K$. При цьому розглядається ситуація, коли енергія електронів E менше висоти бар'єрів U_0 . Коефіцієнт прозорості такої двобар'єрної структури описується рівнянням [22]

$$T(E) = \frac{T_o^2}{T_o^2 + 4R_o \cos^2(\xi a - \theta)}, \quad (3)$$

де величини T_o і R_o коефіцієнти прозорості і відбивання для одиночного бар'єра, $\xi = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2m^*(U_o - E)}$, a – товщина бар'єру, θ – фазовий кут.

Перейдемо до розгляду роботи сенсора температури, електрична схема якого подана на рис. 1.

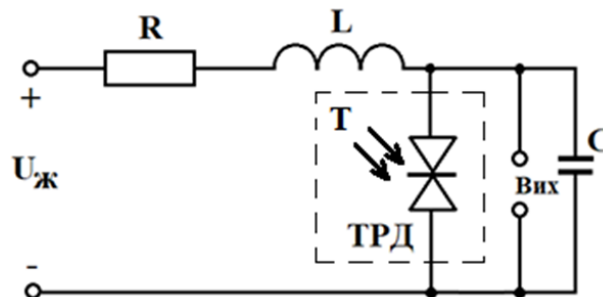
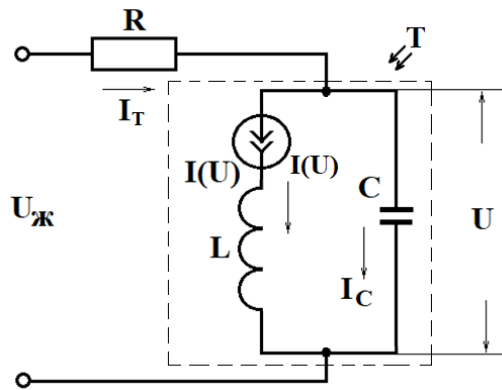


Рис. 1. Електрична схема сенсора температури на основі тунельно-резонансного діода

Електрична схема сенсора температури живиться від джерела постійної напруги $U_{ж}$, опору втрат R , який включає всі омичні опори схеми, зовнішньої індуктивності L , яка послідовно підключена до внутрішньої індуктивності діода, а також містить в собі індуктивності виводів схеми, зовнішньої ємності C , яка паралельно підключена до внутрішньої ємності діода, а також сам тунельно-резонансний діод, на який діє температура. Слід підкреслити, що в схемі сенсора температури з частотним виходом тунельно-резонансний діод виступає як первинний сенсор температури, так і як генератор надвисокочастотних коливань з коливальною LC системою.

Спочатку розглянемо роботу генератора, визначимо умови його стабільної роботи, режими виникнення синусоїдальних коливань, залежність вихідної частоти від часу. Ці умови його роботи можливо визначити на основі еквівалентної схеми, яка подана на рис. 2.

Рис. 2. Еквівалентна схема сенсора температури з внутрішнім джерелом струму $I(U)$

Еквівалентна схема сенсора температури для розрахунку його характеристик подано на рис. 3. Джерело струму $I(U)$ у робочій точці сенсора на спадній ділянці вольт-амперної характеристики визначає відношення $U/I(U)$, що відповідає від'ємному диференційному опору $-R_g$, тому у подальшому в еквівалентній схемі (рис. 3) замінюється на R_g .

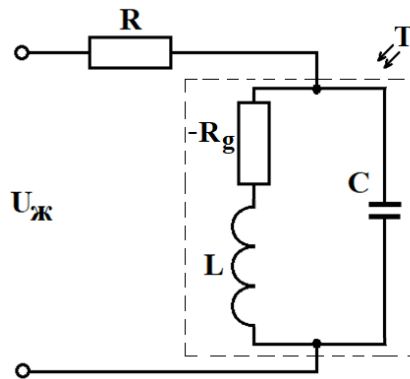


Рис. 3. Еквівалентна схема сенсора температури

У відповідності з рис. 2, складені рівняння Кірхгофа, які потрібні для аналізу схеми автогенератора сенсора температури

$$U_{\text{ж}} = RI_T - R_g I(U) + L \frac{dI(U)}{dt}, \quad (4)$$

$$I_T = I_C + I(U) = C \frac{dU}{dt} + I(U), \quad (5)$$

З рівнянь (4) і (5) визначимо складові, які визначають розвиток процесів у схемі

$$\frac{dI(U)}{dt} = \frac{U_{\text{ж}} - RI_T + R_g I(U)}{L}, \quad (6)$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{I_T - I(U)}{C}. \quad (7)$$

У стані рівноваги схеми ($U = U_0$, $I_T = I_{T_0}$) струми і напруги залишаються незмінними

$$\left. \frac{dI(U)}{dt} \right|_{I_T = I_{T_0}} = 0, \quad (8)$$

$$\left. \frac{dU}{dt} \right|_{U = U_0} = 0. \quad (9)$$

З рівнянь (8) і (9) визначаємо струми і напруги у стані рівноваги

$$U_0 = RI_{T_0} - R_g I(U_0), \quad (10)$$

$$I_{T_0} = I(U_0). \quad (11)$$

Стан рівноваги схеми автогенератора електричних коливань реалізується в одній точці перетину спадної ділянки вольт-амперної характеристики діода і лінії статичного навантаження.

Визначення стійкості стану рівноваги визначається аналітичним методом А.М. Ляпунова [23]. У відповідності з цим методом правильна відповідь на питання стійкості стану рівноваги нелінійної системи (4) і (5) дає дослідження рівнянь її першого наближення (лінійного). Для отримання цих рівнянь введемо

нові змінні для системи (4) і (5)

$$u = U - U_0, \quad (12)$$

$$i = I_T - I_{T_0}, \quad (13)$$

якої описують невеликі відхилення стану схеми сенсора від параметрів рівноваги U_0, I_{T_0} . Нелінійну статичну характеристику тунельно-резонансного діода поблизу стану рівноваги замінимо лінійною функцією $I(U_0 + u) = I(U_0) + u/R_g$, яка включає від'ємний диференціальний опір R_g у точці рівноваги. Нелінійні ємність $C(U)$ і індуктивність $L(U)$ будемо вважати постійними. Тоді рівняння (6) і (7) приймуть вигляд

$$\frac{di}{dt} = \frac{-Ri + u}{L}, \quad (14)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{i - u/R_g}{C}. \quad (15)$$

Виконаємо диференціювання рівняння (15) і підставимо в нього рівняння (14), отримаємо

$$\frac{d^2u}{dt^2} = \frac{1}{C} \left[\frac{-Ri + u}{L} - \frac{1}{R_g} \cdot \frac{du}{dt} \right]. \quad (16)$$

У рівняння (16) підставимо замість струму його вираз

$$i = C \frac{du}{dt} + \frac{u}{R_g}, \quad (17)$$

тоді кінцевий вигляд рівняння (16) описується формулою

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \left(\frac{R}{L} + \frac{1}{R_g C} \right) \frac{du}{dt} + \frac{u}{LC} \left(1 + \frac{R}{R_g} \right) = 0. \quad (18)$$

У відповідності з рівнянням (18) складемо характеристичне рівняння системи

$$x^2 + \left(\frac{R}{L} + \frac{1}{R_g C} \right) x + \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{R}{R_g} \right) = 0. \quad (19)$$

Розв'язок рівняння (19) визначається виразами

$$x_{1,2} = \frac{-\left(\frac{R}{L} + \frac{1}{R_g C} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{R}{L} + \frac{1}{R_g C} \right)^2 - \frac{4}{LC} \left(\frac{R}{R_g} + 1 \right)}}{2}. \quad (20)$$

Стійкість стану рівноваги за Ляпуновим визначається властивостями коренів рівняння (19). Якщо дійсні складові коренів позитивні, то стан рівноваги є стійким, а для виникнення коливань в системі необхідно, щоб корені мали комплексні значення. Виходячи з цих вимог можна записати умови стійкої роботи автогенератора сенсора температури

$$\left| \left(\frac{R}{L} + \frac{1}{R_g C} \right) \right| < 0, \quad (21)$$

$$\left| \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{R}{R_g} \right) \right| > 0. \quad (22)$$

Розв'язок рівняння (18) описує залежність вихідної напруги автогенератора від часу

$$u(t) = A \exp(x_1 t) + B \exp(x_2 t), \quad (23)$$

де x_1 і x_2 визначається виразами (20), A і B сталі інтегрування, які знаходяться з початкових умов.

Розглянемо вплив температури на характеристики тунельно-резонансного діода. При дії температури на діод змінюється енергія електронів у квантовій ямі, що приводить до зміни ефективної маси електронів, а також зміни квантових станів електронів.

Ці явища викликають зміну коефіцієнта прозорості потенціальних бар'єрів, що, у свою чергу, приводить до зміни струму через діод. Зміна струму діода викликає зміну як піків струму і напруги, так і їх долин. Отже, при зміні температури діода змінюються всі параметри еквівалентної схеми діода, що викликає зміну вихідної частоти сенсора температури. Проте їх вклад у зміну вольт-амперної характеристики сенсора є різним. На основі аналітичних формул омичного опору R , індуктивності L , ємності і диференційного від'ємного опору R_g розрахуємо їх зміну від прикладеної температури.

Опір R складається з опорів виводів, омичних контактів і опору розтікання підкладки

$$R = \rho / 2d, \quad (24)$$

де ρ – питомий опір провідника, d – діаметр перерізу діода.

Власні ємність C та індуктивність L діода визначається формулами [24]

$$C = \frac{h^2 n^2}{4m^* a^2 u^2}, \quad (25)$$

$$L = \frac{h^2 n^2}{4m^* a^2 i^2}, \quad (26)$$

де h – стала Планка, n – кількість енергетичних рівнів у квантовій ямі діода, m^* – ефективна маса електрона, a – ширина квантової ями, u та i – відповідно змінні напруга і струм діода. Від'ємний диференційний опір у робочій точці вольт-амперної характеристики сенсора має вигляд

$$R_g = -\frac{u}{i}. \quad (27)$$

Виходячи із загальних математичних міркувань зміни функції від зміни її аргументів, зміну параметрів сенсора від температури можна подати у наступному вигляді

$$\Delta R(T) = \frac{\partial R}{\partial d} \Delta d(T) + \frac{\partial R}{\partial \rho} \Delta \rho(T), \quad (28)$$

$$\Delta C(T) = \frac{\partial C}{\partial m^*} \Delta m^*(T) + \frac{\partial C}{\partial a} \Delta a(T) + \frac{\partial C}{\partial u} \Delta u(T) + \frac{\partial C}{\partial n} \Delta n(T), \quad (29)$$

$$\Delta L(T) = \frac{\partial L}{\partial m^*} \Delta m^*(T) + \frac{\partial L}{\partial a} \Delta a(T) + \frac{\partial L}{\partial i} \Delta i(T) + \frac{\partial L}{\partial n} \Delta n(T), \quad (30)$$

$$\Delta R_g(T) = -\left(\frac{\partial R_g}{\partial i} \Delta i(T) + \frac{\partial R_g}{\partial u} \Delta u(T) \right), \quad (31)$$

Виконавши необхідні перетворення у формулах (28)–(31), отримаємо

$$\Delta R(T) = \frac{1}{2d} \Delta \rho(T) - \frac{\rho}{2} \frac{1}{d^2} \Delta d(T), \quad (32)$$

$$\Delta C(T) = -\frac{h^2 n^2}{4m^* a^2 u^2} \Delta m^*(T) - \frac{h^2 n^2}{2m^* a^2 u^2} \Delta a(T) - \frac{h^2 n^2}{2m^* a^2 u^2} \Delta u(T) + \frac{h^2 n^2}{2m^* a^2 u^2} \Delta n(T), \quad (33)$$

$$\Delta L(T) = -\frac{h^2 n^2}{4m^* a^2 i^2} \Delta m^*(T) - \frac{h^2 n^2}{2m^* a^2 i^2} \Delta a(T) - \frac{h^2 n^2}{2m^* a^2 i^2} \Delta i(T) + \frac{h^2 n^2}{2m^* a^2 i^2} \Delta n(T), \quad (34)$$

$$\Delta R_g(T) = \frac{u}{i^2} \Delta i(T) - \frac{1}{i} \Delta u(T), \quad (35)$$

Аналіз формул (32)–(35) показує, що найбільший вплив зміни температури діє на диференційний від'ємний опір, оскільки власні ємність і індуктивність діода також змінюються від дії температури, проте їх зміни в порівнянні із зовнішньою ємністю та індуктивністю на чотири порядки менше, тому їх зміни не враховуємо. Таким чином, зміна диференційного від'ємного опору викликає зсув частоти генерації автогенератора сенсора температури.

Резонансна частота автогенератора сенсора температури визначається на основі формули вхідного імпедансу схеми (рис. 3). Формула імпедансу має вигляд

$$Z_{\text{вх}} = R + \frac{-\frac{R_g L}{C} - \frac{R_g}{\omega C} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R_g^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} - j \frac{\frac{R_g^2}{\omega C} + \frac{L}{C} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R_g^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}. \quad (36)$$

У режимі резонансу уявна складова виразу (36) дорівнює нулю

$$\frac{\frac{R_g^2}{\omega C} + \frac{L}{C} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R_g^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = 0. \quad (37)$$

З рівняння (37) визначаємо резонансну частоту, яка описується виразом

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_g^2(T)}{L^2}}, \quad (38)$$

У виразі (38) тільки від'ємний диференційний опір залежить від температури, на зовнішні ємність і індуктивність температура не діє. Графік залежності зміни резонансної частоти від температури подано на рис. 4. Цей графік є функцією перетворення сенсора температури. Як видно з рис. 4, відбувається нелінійне зростання частоти від $4,02 \cdot 10^9$ Гц до $4,09 \cdot 10^9$ Гц при зміні температури від -150 °С до 50 °С. Це пояснюється зменшенням від'ємного диференційного опору в цьому діапазоні температур.

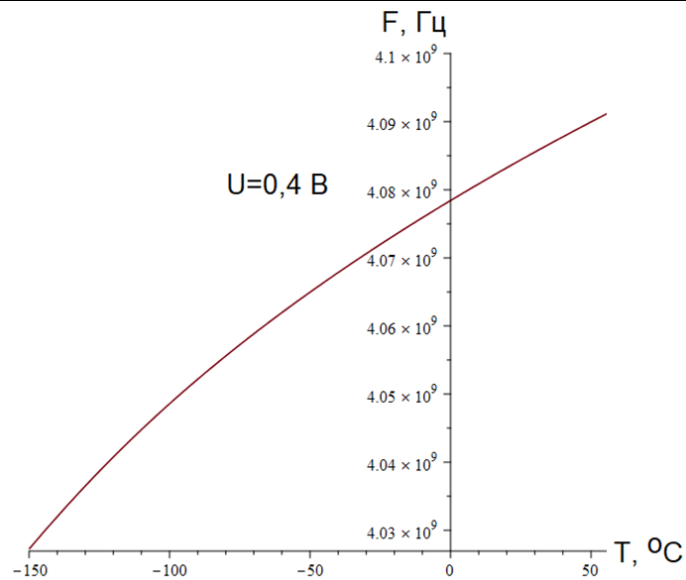


Рис. 4. Залежність зміни резонансної частоти від температури

Чутливість сенсора тиску визначається першою похідною функції перетворення (38) за зміною температури. Її розмірність відповідає відношенню Гц/°C. На рис. 5 надано розрахункову залежність функції чутливості сенсора від зміни температури. Її аналітичний вираз описується рівнянням

$$S = - \frac{R_g(T) \left(\frac{\partial R_g(T)}{\partial T} \right)}{2\pi L^2 \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_g^2(T)}{L^2}}} \quad (39)$$

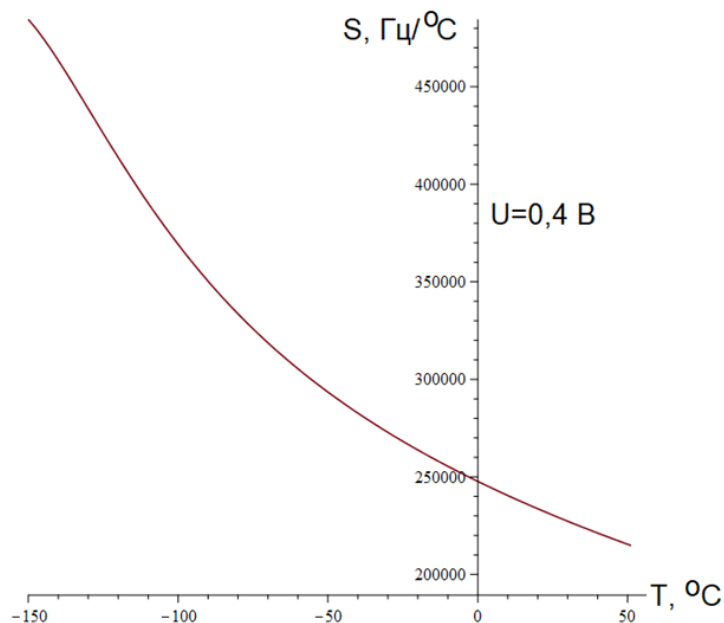


Рис. 5. Розрахункова залежність чутливості сенсора від температури

Як видно з графіка (рис. 5), величина чутливості має нелінійний характер і зменшується від 480 кГц/°C до 220 кГц/°C при зміні температури в діапазоні від -150 °C до +50 °C. В області низьких температур сенсор має більшу чутливість внаслідок більш різкої зміни від'ємного диференційного опору зі зменшенням температури.

Висновки

Виходячи з розгляду фізичних процесів, розроблено математичну модель сенсора температури на тунельно-резонансному діоді, на основі якої визначено аналітичні залежності функцій перетворення і чутливості. Показано, що основний внесок у функцію перетворення вносить зміна енергії електронів в квантовій гетероструктурі тунельно-резонансного діода при дії температури. Це призводить до зміни

від'ємного диференційного опору, що, у свою чергу, змінює вихідну частоту сенсора температури. Чутливість сенсора температури змінюється від 480 кГц/°C до 220 кГц/°C в діапазоні зміни температури від -150°C до 50°C. Вихідна частота при цьому змінювалась від $4,02 \cdot 10^9$ Гц до $4,09 \cdot 10^9$ Гц.

На основі еквівалентної схеми сенсора визначено аналітичні зміни всіх її елементів від дії температури. Показано, що сенсори температури з частотним виходом на основі тунельно-резонансних діодів мають суттєві переваги. Ці переваги зв'язано з можливістю працювати у надвисокочастотному діапазоні, у підвищення точності виміру температури, з безпроводною передачею інформації на відстань, мікромініатюризації сенсора аж до нанорозмірів, простість його конструкції.

Література

1. Джексон Р.Г. Новейшие датчики / Джексон Р.Г. – Москва : Техносфера, 2007. – 384 с.
2. Schaumburg H. Sensoren. Stuttgart: Teubner, 1992. 517 p.
3. Датчики : справочное пособие / под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с.
4. 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
5. Мікроелектронні сенсори фізичних величин / за ред. З. Ю. Готри. – Львів : Ліґа-прес, Т.2, 2002. – 475 с.
6. Andreas Pfenning, Fabian Hartmann, Mariama Rebello Sousa Dias and all. Nanothermometer Based on Resonant Tunneling Diodes: From Cryogenic to Room Temperatures. ACS Nano 2015, 9, 6, P. 6271–6277.
7. Man Mohan Singh, M.J. Siddiqui. Electrical characterization of triple barrier GaAs/AlGaAs RTD with dependence of operating temperature and barrier lengths. Materials Science in Semiconductor Processing, 2017, 58, P. 89–95.
8. Castro Pablo and Lecuna, Ramón, Manana Mario, Martin Maria Jose and Campo Dolores. Infrared Temperature Measurement Sensors of Overhead Power Conductors. Sensors, Vol. 20, 2020, N. 24, 7126.
9. Kwang-Jow Gan, Kuan-Yu Chun, Wen-Kuan Yeh. Design of Dynamic Frequency Divider using Negative Differential Resistance Circuit. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2015. Volume: 3 Issue: 8. P. 5224–5228.
10. Осадчук В. С. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / Осадчук В. С., Осадчук О. В. – Винница : Универсум-Винница, 1999. – 275 с.
11. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisała P., Nurseitova K. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019; 111761I (2019).
12. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output. Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, 2017, 104451X (2017).
13. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Kisała P., Zyska T., Annabaev A., Mussabekov K. Radiomeasuring pressure transducer with sensitive MEMS Capacitor. Przegląd Elektrotechniczny. 2017, R93(3). P. 113–116.
14. Altet Josep, Barajas Enrique, Mateo Diego, Billong Alexandre, Aragones Xavier and Perpiñà Xavier. PF-Based Thermal Sensor Circuit for On-Chip Testing of RF Circuits. Sensors 2021, 21, N3. 805. DOI: 10.3390/s21030805
15. Yang Bo, Hu Di, Wu Lei. Design and Analysis of a New Hair Sensor for Multi-Physical Signal Measurement. Sensors 2016, Vol.16, N. 7, 1056. DOI: 10.3390/s16071056
16. Adwait A. Borwankar, Ajay S. Ladkat, Manisha R. Mhetre. Thermal Transducers Analysis. National Conference on, Modeling, Optimization and Control, 4th – 6th March 2015, NCMOC – 2015.
17. Osadchuk I. A., Osadchuk A. V., Osadchuk V. S. and Semenov A. O. Nanoelectronic Pressure Transducer with a Frequency Output Based on a Resonance Tunnel Diode. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine. 2020. – P. 452-457. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235474.
18. Sze S.M., Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007; P. 435–455.
19. Esaki L., Tsu R. Superlattices and negative differential conductivity in semiconductors. IBM J. Res. Develop, vol.14. P. 61–65. Jan., 1970.
20. 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.
21. Tsu R., Esaki L. Tunneling in a finite superlattice. Appl. Phys. Lett., Vol. 22. P. 562–564. June, 1973.
22. Мартинес-Дуарт Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Рueda. – Москва : Техносфера, 2007. – 368 с.
23. Андреев В. С. Теория нелинейных электрических цепей : учебное пособие для вузов / Андреев В. С. – Москва : Радио и связь, 1982. – 280 с.

24. Осадчук О.В. Дослідження реактивних властивостей тунельно-резонансного діода / О.В. Осадчук, В.С. Осадчук, Я.О. Осадчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020 (287). – Том 1. № 4. – С. 160–167.

References

1. Jackson R.G. Latest sensors. – Moscow: Technosphere, 2007. – 384 p.
2. Schaumburg H. Sensoren. – Stuttgart.: Teubner, 1992. – 517 p.
3. Sensors: Reference Manual / Under total. ed. V.M. Sharapova, E.S. Polishchuk. Moscow: Technosphere, 2012. – 624 p.
4. 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
5. Microelectronic sensors of physical quantities / Ed. Z. Yu. Gotra. – Lviv: League - Press, vol. 2, 2002. – 475 p.
6. Andreas Pfenning, Fabian Hartmann, Mariama Rebello Sousa Dias and all. Nanothermometer Based on Resonant Tunneling Diodes: From Cryogenic to Room Temperatures. ACS Nano 2015, 9, 6, P.6271–6277.
7. Man Mohan Singh, M.J. Siddiqui. Electrical characterization of triple barrier GaAs/AlGaAs RTD with dependence of operating temperature and barrier lengths. Materials Science in Semiconductor Processing, 2017, 58, P. 89-95.
8. Castro Pablo and Lecuna, Ramón, Manana Mario, Martin Maria Jose and Campo Dolores. Infrared Temperature Measurement Sensors of Overhead Power Conductors. Sensors, VOL.20, 2020, N.24, 7126.
9. Kwang-Jow Gan, Kuan-Yu Chun, Wen-Kuan Yeh. Design of Dynamic Frequency Divider using Negative Differential Resistance Circuit. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2015. Volume: 3 Issue: 8. P. 5224-5228.
10. Osadchuk V.S., Osadchuk O.V. Reactive properties of transistors and transistor circuits. Vinnitsa: "Universum-Vinnitsa", 1999. 275 p.
11. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisała P., Nurseitova K. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019; 111761I (2019).
12. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output. Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, 2017, 104451X (2017).
13. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Kisała P., Zyska T., Annabaev A., Mussabekov K. Radiomeasuring pressure transducer with sensitive MEMS Capacitor. Przegląd Elektrotechniczny. 2017, R93(3), –P.113–116.
14. Altet Josep, Barajas Enrique, Mateo Diego, Billong Alexandre, Aragones Xavier and Perpiñà Xavier. PF-Based Thermal Sensor Circuit for On-Chip Testing of RF Circuits // Sensors 2021, 21, N3. 805. Doi: 10.3390/s21030805
15. Yang Bo, Hu Di, Wu Lei. Design and Analysis of a New Hair Sensor for Multi-Physical Signal Measurement. Sensors 2016, Vol.16, N.7, 1056. DOI: 10.3390/s16071056
16. Adwait A. Borwankar, Ajay S. Ladkat, Manisha R. Mhetre. Thermal Transducers Analysis. National Conference on, Modeling, Optimization and Control, 4th – 6th March 2015, NCMOC – 2015.
17. Osadchuk I. A., Osadchuk A. V., Osadchuk V. S. and Semenov A. O. Nanoelectronic Pressure Transducer with a Frequency Output Based on a Resonance Tunnel Diode. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine. 2020. P. 452-457, DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235474.
18. Sze S.M., Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007; P. 435–455.
19. Esaki L., Tsu R. Superlattices and negative differential conductivity in semiconductors. IBM J. Res. Develop, vol.14, P. 61-65. Jan., 1970.
20. Jian Pind Sun, George J. Haddad, Pinaki Mazumder and Joel N. Schulman. Resonant Tunneling Diodes: Models and Properties. Proceedings of The IEEE, vol.86, N.4, April 1998, P. 641-661.
21. Tsu R., Esaki L. Tunneling in a finite superlattice. Appl. Phys. Lett., Vol. 22. P. 562-564. June, 1973.
22. Martinez-Duart J.M. Nanotechnology for micro- and optoelectronics / J.M. Martinez-Duart, R.J. Martin-Palma, F. Agullo-Rueda. Moscow: Technosphere, 2007. 368 p.
23. Andreev V.S. Theory of nonlinear electrical circuits: Textbook for universities. Moscow: Radio and communication, 1982. 280 p.
24. Osadchuk O.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.O. Investigation of reactive properties of tunnel resonance diode. Herald of Khmelnytskyi National University. Volume 1. № 4, 2020 (287). P. 160–167.

Надійшла/Paper received : 16.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА З УРАХУВАННЯМ АСИМЕТРІЇ МАГНІТОПРОВОДУ

В роботі запропоновано математичну модель трифазного планарного трансформатора стрижневої конструкції, яка враховує асиметрію магнітної системи. Математична модель побудована на основі трьохосової моделі узагальненої електричної машини, яка відрізняється широким визнанням та характеризується високим рівнем адекватності. Використано уточнений варіант моделі, котрий враховує втрати потужності у магнітопроводі. На основі запропонованої математичної моделі проаналізовані розрахункові перехідні процеси для трансформатора потужністю 63 кВА і напругою 6/0,4 кВ. Встановлено, що максимальна різниця, яку вносить врахування асиметрії магнітної системи трансформатора, становить 5...6 % при вмиканні його на повне навантаження.

Ключові слова: математична модель, трансформатор, асиметрія, магнітопровід.

O.YU. KIMSTACH, I.M. ILLIASHENKO, A.O. ZHEZHELO

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

MATHEMATICAL MODELING OF A THREE-PHASE TRANSFORMER TAKING INTO ACCOUNT A MAGNETIC CORE ASYMMETRY

The paper analyses the aspects of modelling the operation of a three-phase core-type transformer. The features of the magnetic system construction of the transformer, which generate asymmetry, are disclosed. The fundamentals and methods for modelling a transformer in dynamic modes are considered. The main purpose of the paper is to research the influence of taking into account the asymmetry of the transformer magnetic core on its dynamic model. The paper proposes the mathematical model of a three-phase planar core-type transformer, which takes into account the asymmetry of the magnetic core. The mathematical model is based on the model of a generalized electric machine in the ABC axes, which is widely recognized and characterized by a high level of adequacy. A refined model, which takes into account the power losses in the magnetic core, has used. As is well known, such a model is characterized by higher accuracy and adequacy in the calculation of transient processes. For the proposed mathematical model, a comparative analysis of the calculated curves of transient processes for a 63 kVA transformer with a voltage of 6 / 0.4 kV is made. To disclose the effect of taking into account the magnetic core asymmetry of the transformer in the mathematical model, the current differences were calculated in pu for the modes of switching on at full power and three-phase short circuit. These modes are the most common and indicative in the analysis of the operability and stability of transformers. It was found that the most significant difference, which is obtained by taking into account the magnetic system asymmetry of the transformer, is 5...6% when it is switched on at full load. Thus, the relatively simple transformations and updating of the mathematical model of the transformer allow significantly increase its adequacy. The proposed mathematical model can be more effectively used when the non-typical design of three-phase transformers or reactors with significant asymmetry of the magnetic core is considered.

Keywords: mathematical model, transformer, asymmetry, magnetic core.

Постановка проблеми

Будова сучасних систем електропостачання неможлива без використання трансформаторних підстанцій [1]. Вони використовуються для перетворення кількості фаз, зміни величини напруги, гальванічного розв'язування електричних кіл, покращення показників якості електричної енергії та ін. Трансформаторні підстанції найбільш важливі та коштовні елементи сучасних електроенергетичних систем [2], вони працюють у статичних та динамічних режимах, які можуть бути викликані нормальними явищами (зміна схеми електропостачання, комутація споживачів, регулювання напруги та ін.) та аварійними ситуаціями (обрив дроту, коротке замкнення, перевантаження та ін.). Найбільш небезпечними являються динамічні режими, які характеризуються значними сплесками струму та напруги, що, в свою чергу, може стати причиною uszkodження кошовного електрообладнання та порушення електропостачання. Тому дослідження динамічних режимів роботи трансформаторних підстанцій, яке потребує застосування досконалих математичних моделей і методів моделювання, традиційно являється актуальним питанням.

Основним інструментом для моделювання трансформаторів у динамічних режимах являється математична модель (ММ), яка побудована на основі моделі узагальненої електричної машини [3]. Але вона має достатньо багато припущень, серед яких – відсутність врахування магнітних втрат потужності, але його можна усунути, якщо застосовувати вдосконалену ММ [4, 5]. Інше важливе припущення – повна симетрія конструкції й параметрів трансформатора, але це відповідає лише трансформаторам з рамним (просторовим) магнітопроводом [6–8]. Для найбільш поширених трансформаторів планарної конструкції [6], які мають асиметрію магнітної системи, котра призводить до асиметрії параметрів та характеристик трансформаторів за фазами, таке припущення може вносити суттєву помилку в результат моделювання. Тому доцільно дослідити вплив останнього припущення на результат математичного моделювання динамічних режимів планарних трансформаторів.

Аналіз останніх джерел

Асиметрія магнітопроводів планарних трансформаторів призводить до негативних явищ у системах електропостачання: перекосу навантаження, яке викликає додаткові втрати потужності [9]; різнобічної величини перекування синусоїди струмів за фазами, яка досягає приблизно 25 % [10]; появи зворотної

послідовності, котра для струму холостого ходу досягає майже 20 % [10]. Тому можна припустити, що врахування асиметрії у ММ трансформатора призведе до суттєвого результату при аналізі динамічних режимів.

Більшість досліджень щодо врахування асиметрії магнітної системи трансформатора виконувалися традиційно для статичних режимів роботи [6, 9], а в динамічних ММ це зазвичай призводило до значного її ускладнення, тому з урахуванням достатньо низької точності звичайних ММ знехтування асиметрією магнітопроводу вважалось нормальним явищем, але існують і протилежні випадки. Так в роботі [11] виконано за допомогою просторових векторів аналіз картини асиметричного магнітного поля трансформатора, але це дуже складна ММ, яка придатна для вирішення зазначеної в [11] задачі та достатньо складна для загального аналізу роботи трансформатора у складі систем електропостачання.

Значна кількість досліджень щодо моделювання роботи трансформаторів базується на застосуванні прикладних програмних рішень: Comsol Multiphysics [11], MatLab Simulink [12], ANSYS Maxwell [13] та ін. З одного боку це спрощує побудову досліджень, за рахунок вбудованих ММ та методів їх розрахунку, а з іншого – вносять обмеження та зменшують можливості проведення нестандартних досліджень.

Важливим моментом визначення шляхів та засобів дослідження є обрання відповідної ММ. Для аналізу динамічних режимів роботи трансформатора в основному застосовуються ММ на основі рівнянь Кирхгофа [7] або рівнянь узагальненої електричної машини [3]. Останні ММ можна побудувати у двох осях [3, 4] або у трьох осях [3].

Як відомо, ММ трансформатора і асинхронного двигуна споріднені, а при загальмованому роторі взагалі співпадають, тому окремі наробки та підходи з дослідження динамічних режимів асинхронних машин можна використати при дослідженні трансформаторів. Так при аналізі роботи електричної машини в динамічному режимі при несинусоїдальних струмах [14] або при неповнофазному режимі [15] більш прийнятними для використання являються трьохосьові ММ. А взагалі перехід від ММ в двох осях до ММ в трьох осях або навпаки для струму і напруги наведено у роботах [3, 16]. Можна спочатку обрати вектори, які зображають зміну струму і напруги, а потім його розкласти на складові за відповідними осями, як це показано у [17]. Враховуючі, що більшість силових трансформаторів в системах електропостачання трифазні, доцільно для аналізу впливу асиметрії магнітної системи трансформатора на його динамічні характеристики обрати трьохосьову ММ в осях ABC .

Метою роботи є дослідження впливу врахування асиметрії магнітної системи планарних трансформаторів на їх динамічні характеристики.

Виклад основного матеріалу

Асиметрія магнітопроводу планарного трансформатора обумовлена різною довжиною силової лінії основного магнітного потоку для середнього та крайніх стрижнів [6]. Це викликає різницю струмів холостого ходу для відповідних фаз трансформатора. Врахування асиметрії магнітної системи трансформатора можна шляхом визначення і врахування різниці взаємної індуктивності для обмоток кожної фази та між фазами трансформатора.

Розглядається стрижневий тип трансформатора, як найбільш простий і більш затребуваний для основної кількості поширених трансформаторів малої та середньої потужності. Приймаються наступні позначення для трансформатора: крайні стрижні відповідають фазам A і C , а середній стрижень фазі B .

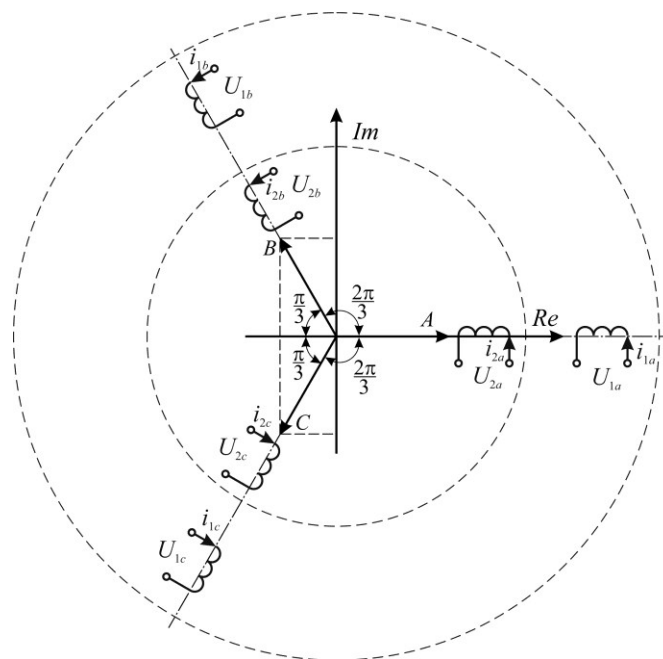


Рис. 1. Трьохосьова математична модель трансформатора

Для взаємної індуктивності обмоток приймаються наступні позначення:

- між середнім і крайнім стрижнями $M_{AB} = M_{BA} = M_{CB} = M_{BC}$, приймаються у подальших розрахунках рівними M_{AB} ;
- між крайніми стрижнями $M_{AC} = M_{CA}$ і для крайніх стрижень $M_A = M_C$, приймаються у подальших розрахунках рівними M_A ;
- для середнього стрижня M_B .

Слід зазначити, що розрахунок виконується у відносних одиницях за базовими величинами, визначення котрих наведено у [4], а відповідно індуктивні опори й індуктивності мають однакові значення у відносних одиницях.

Схематичний вигляд ММ трансформатора в осях ABC наведено на рис. 1, де ось A і дійсна ось співпадають, але таке рішення не є обов'язковим, хоча і спрощує формування ММ.

Відповідно ММ в осях ABC [3] побудовано системи рівнянь:

- для потокозчеплень

$$\begin{cases} \Psi_{1a} = L_{1A}i_{1a} - 0.5M_{AB}i_{1b} - 0.5M_{AC}i_{1c} + M_Ai_{2a} - 0.5M_{AB}i_{2b} - 0.5M_{AC}i_{2c}; \\ \Psi_{1b} = L_{1B}i_{1b} - 0.5M_{AB}i_{1a} - 0.5M_{AC}i_{1c} + M_Bi_{2b} - 0.5M_{AB}i_{2a} - 0.5M_{AC}i_{2c}; \\ \Psi_{1c} = L_{1C}i_{1c} - 0.5M_{AB}i_{1b} - 0.5M_{AC}i_{1a} + M_Ai_{2c} - 0.5M_{AB}i_{2b} - 0.5M_{AC}i_{2a}; \\ \Psi_{2a} = L_{2A}i_{2a} - 0.5M_{AB}i_{2b} - 0.5M_{AC}i_{2c} + M_Ai_{1a} - 0.5M_{AB}i_{1b} - 0.5M_{AC}i_{1c}; \\ \Psi_{2b} = L_{2B}i_{2b} - 0.5M_{AB}i_{2a} - 0.5M_{AC}i_{2c} + M_Bi_{1b} - 0.5M_{AB}i_{1a} - 0.5M_{AC}i_{1c}; \\ \Psi_{2c} = L_{2C}i_{2c} - 0.5M_{AB}i_{2b} - 0.5M_{AC}i_{2a} + M_Ai_{1c} - 0.5M_{AB}i_{1b} - 0.5M_{AC}i_{1a}, \end{cases} \quad (1)$$

де повні індуктивності для обмоток обчислюються за формулами [3]:

$$\begin{aligned} L_{1A} &= L_{1C} = L_{1\sigma} + M_A; \\ L_{1B} &= L_{1\sigma} + M_B; \\ L_{2A} &= L_{2C} = L_{2\sigma} + M_A; \\ L_{2B} &= L_{2\sigma} + M_B, \end{aligned} \quad (2)$$

де $L_{1\sigma}$ і $L_{2\sigma}$ – індуктивності розсіювання первинної та вторинної обмоток у в.о.;

- для кіл обмоток

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_{1a}}{dt} = U_{1a} - r_1 \cdot i_{1a} + \frac{\Psi_{1b} - \Psi_{1c}}{\sqrt{3}} - r_m [i_{1a} + i_{2a} - 0.5 \cdot (i_{1b} + i_{2b} + i_{1c} + i_{2c})]; \\ \frac{d\Psi_{1b}}{dt} = U_{1b} - r_1 \cdot i_{1b} + \frac{\Psi_{1c} - \Psi_{1a}}{\sqrt{3}} - r_m [i_{1b} + i_{2b} - 0.5 \cdot (i_{1a} + i_{2a} + i_{1c} + i_{2c})]; \\ \frac{d\Psi_{1c}}{dt} = U_{1a} - r_1 \cdot i_{1a} + \frac{\Psi_{1a} - \Psi_{1b}}{\sqrt{3}} - r_m [i_{1c} + i_{2c} - 0.5 \cdot (i_{1b} + i_{2b} + i_{1a} + i_{2a})]; \\ \frac{d\Psi_{2a}}{dt} = -r_2 \cdot i_{2a} + \frac{\Psi_{2b} - \Psi_{2c}}{\sqrt{3}} - r_m [i_{1a} + i_{2a} - 0.5 \cdot (i_{1b} + i_{2b} + i_{1c} + i_{2c})]; \\ \frac{d\Psi_{2b}}{dt} = -r_2 \cdot i_{2b} + \frac{\Psi_{2c} - \Psi_{2a}}{\sqrt{3}} - r_m [i_{1b} + i_{2b} - 0.5 \cdot (i_{1a} + i_{2a} + i_{1c} + i_{2c})]; \\ \frac{d\Psi_{2c}}{dt} = -r_2 \cdot i_{2a} + \frac{\Psi_{2a} - \Psi_{2b}}{\sqrt{3}} - r_m [i_{1c} + i_{2c} - 0.5 \cdot (i_{1b} + i_{2b} + i_{1a} + i_{2a})]; \end{cases} \quad (3)$$

де r_1 – активний опір первинної обмотки у в.о.; r_2 – сума активних зведених опорів вторинної обмотки трансформатора та навантаження у в.о.; r_m – активний опір гілки намагнічування заступної схеми трансформатора у в.о.

Для практичного застосування ММ система рівнянь (1) розв'язується для струмів

$$\left\{ \begin{aligned} i_{1a} &= \frac{s_{ac}\Psi_{1a} + A \cdot M_{AB}x_b\Psi_{1b} + Cx_b\Psi_{1c} + s_r\Psi_{2a} + A \cdot M_{AB}b_x\Psi_{2b} + Cb_x\Psi_{2c}}{-A \cdot B \cdot x_1}; \\ i_{1b} &= \frac{M_{AB}x_b\Psi_{1a} + s_b\Psi_{1b} + M_{AB}x_b\Psi_{1c} + M_{AB}b_x\Psi_{2a} + b_r\Psi_{2b} + M_{AB}b_x\Psi_{2c}}{-B \cdot x_1}; \\ i_{1c} &= \frac{Cx_b\Psi_{1a} + A \cdot M_{AB}x_b\Psi_{1b} + s_{ac}\Psi_{1c} + Cb_x\Psi_{2a} + A \cdot M_{AB}b_x\Psi_{2b} + s_r\Psi_{2c}}{-A \cdot B \cdot x_1}; \\ i_{2a} &= \frac{-r_{ac}\Psi_{1a} - A \cdot M_{AB}x\Psi_{1b} - Cx\Psi_{1c} - r_{ca}\Psi_{2a} - A \cdot M_{AB}x_1^2\Psi_{2b} - Cx_1^2\Psi_{2c}}{A \cdot B}; \\ i_{2b} &= \frac{M_{AB}x\Psi_{1a} - b_s\Psi_{1b} + M_{AB}x\Psi_{1c} + M_{AB}x_1^2\Psi_{2a} + r_b\Psi_{2b} + M_{AB}x_1^2\Psi_{2c}}{-B}; \\ i_{2c} &= \frac{-Cx\Psi_{1a} - A \cdot M_{AB}x\Psi_{1b} - r_{ac}\Psi_{1c} - Cx_1^2\Psi_{2a} - A \cdot M_{AB}x_1^2\Psi_{2b} - r_{ca}\Psi_{2c}}{A \cdot B}, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

де використані наступні коефіцієнти

$$\begin{aligned} A &= 3M_a(x_1 + x_2) + 2x_1x_2; \\ B &= (M_{ab}^2 - M_aM_b)(x_1 + x_2)^2 - 2x_1^2x_2^2 - (M_a + 2M_b)(x_1 + x_2)x_1x_2; \\ C &= 2M_ax_1x_2 + (x_1 + x_2)(M_{ab}^2 + 2M_aM_b); \\ s_{ac} &= 3BM_ax_2 - AB + Cx_2^2x_1; \\ s_b &= Cx_2 - B - AM_bx_2 - 2M_ax_2^2x_1; \\ s_r &= AB - 3BM_ax_2 - 2Bx_1x_2 + Cx_2^2x_1^2; \\ x_b &= x_2^2x_1; \\ x &= x_2x_1; \\ r_{ca} &= Cx_1^2 - B(3M_a + 2x_1); \\ r_{ac} &= 3BM_a + Cx_2x_1; \\ b_r &= B - Cx_2 + AM_bx_2 + Ax_1x_2 - 2M_ax_2x_1^2; \\ b_x &= x_2x_1^2; \\ b_s &= M_bA - C + 2M_ax_1x_2; \\ r_b &= M_bA - C + Ax_1 - 2M_ax_1^2, \end{aligned} \quad (5)$$

де x_1 – індуктивний опір первинної обмотки у в.о.; x_2 – сума індуктивних зведених опорів вторинної обмотки трансформатора та навантаження у в.о.

За системами рівнянь (3)-(5) будується ММ трансформатора з урахуванням асиметрії магнітної системи, звичайна ММ трансформатора може бути отримана з наведеної, якщо задати параметри взаємної індуктивності однаковими за всіма осями.

Для аналізу результатів моделювання використовуються повні первинний і вторинний струми, які розраховуються за відповідними формулами:

- для первинного струму

$$I_1 = \sqrt{\left(i_{1a} - \frac{i_{1b}}{2} - \frac{i_{1c}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}i_{1b} - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{1c}\right)^2}; \quad (6)$$

- для вторинного струму

$$I_2 = \sqrt{\left(i_{2a} - \frac{i_{2b}}{2} - \frac{i_{2c}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}i_{2b} - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{2c}\right)^2}. \quad (7)$$

В якості прикладу розрахунку для порівняльного аналізу використано спроектований стрижневий трансформатор потужністю 63 кВА на напругу 6/0,4 кВ.

На рис. 2 наведені перехідні характеристики для повного (вектору відображення) та осьових складових первинного струму трансформатора при вмиканні на повне навантаження, які розраховані за двома ММ з (струми зі штрихом) та без врахування асиметрії магнітопроводу. Для повного струму різниця декілька менше проявляється ніж для складових за відповідними осями, але слід зазначити, що при врахуванні асиметрії магнітної системи спостерігається збільшення максимумів струму, а цей фактор слід враховувати при налаштуванні захисної апаратури трансформаторної підстанції.

Для кількісної оцінки різниці у динамічних характеристиках трансформатора за рахунок врахування асиметрії магнітної системи використовуються процентні різниці первинних та вторинних струмів, які

розраховуються за наступними формулами:

- для первинного струму

$$\Delta I_1 = |I_1 - I'_1| \cdot 100\% ; \quad (8)$$

- для вторинного струму

$$\Delta I_2 = |I_2 - I'_2| \cdot 100\% . \quad (9)$$

Відповідно (8) і (9) процентне значення різниці розраховується відносно номінального значення струму, яке прийняте за базове значення.

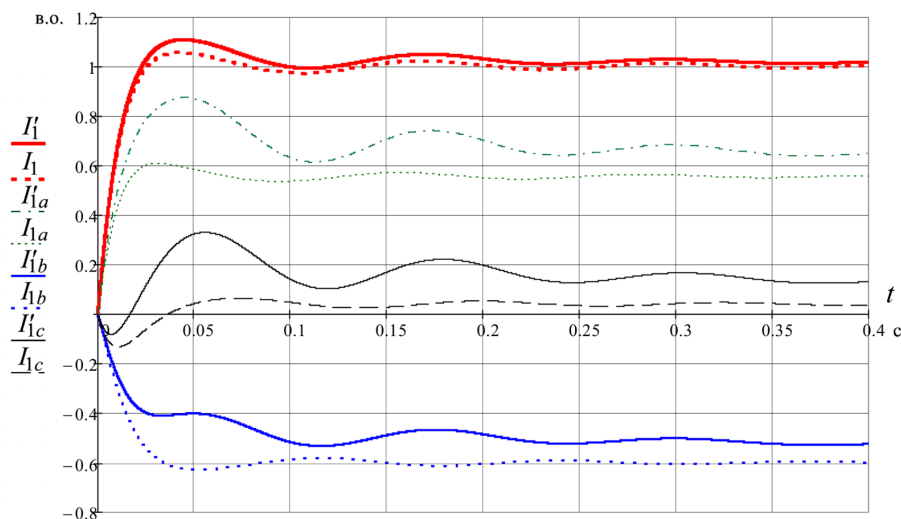


Рис. 2. Перехідні характеристики для первинного струму трансформатора при вмиканні на повне навантаження, розраховані за двома математичними моделями

Порівняння результатів моделювання виконується для двох випадків (рис. 3): вмикання при повному навантаженні; трифазне коротке замкнення, що сталося при роботі на повне навантаження.

Перший випадок являється найбільш важким та розповсюдженим нормальним режимом роботи, а другий – самий тяжкий приклад аварійної ситуації [18, 19]. При розгляді режиму короткого замкнення іноді виконується перерахунок взаємної індуктивності для обмоток [20], але у даному випадку це не виконується.

Розраховані за (8) і (9) різниці для первинних і вторинних струмів наведено на рис. 3. Вони показують, що при вмиканні на повне навантаження (рис. 3, а) спостерігається максимальне розходження первинного струму у 5,3 %, при цьому вторинний струм майже не має різниці.

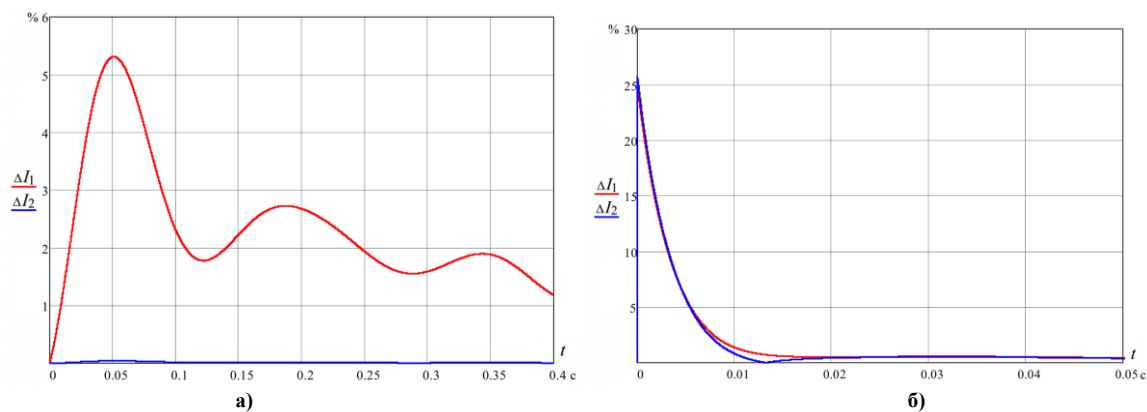


Рис. 3. Різниця первинних і вторинних повних струмів трансформатора:
а) при вмиканні на повне навантаження; б) в режимі короткого замкнення

При короткому замкненні (рис. 3, б) спостерігається приблизно однакова різниця для первинного і вторинного струмів, яка максимально проявляється на початку перехідного процесу і досягає величини більше 25 % номінального струму, але порівняно зі струмом короткого замкнення, котрий більше номінального у десятки разів така різниця стає менш вагомою.

В обох режимах можна помітити, що при поступовому затуханні перехідного процесу різниця зменшується, що додатково свідчить про адекватність наведеної ММ.

Запропонована ММ показала, що при незначному ускладненні можна значно розширити можливості моделювання нестандартних конструктивних схем або аварійних режимів трансформаторів, які передбачають наявність асиметрії магнітної системи. Отримані результати моделювання для підвищення їх достовірності доцільно перевірити за допомогою експериментальних досліджень на прикладі декількох

типорозмірів трансформаторів, але враховуючі їх математичне обґрунтування та адекватну поведінку ММ при моделюванні, можна стверджувати про високий рівень достовірності викладених положень.

Наведену методику врахування асиметрії магнітної системи трансформатора при математичному моделюванні можна використати і для інших типів трансформаторів.

Висновки

Запропонована ММ трансформатора, яка враховує асиметрію магнітної системи планарного стрижневого трансформатора, має всі ознаки адекватної моделі. Її застосування надає можливість усунути припущення знехтуванням асиметрією магнітопроводу, яка має вагомість на рівні 5...6 %.

Література

1. Kimstach, O. Yu. Definition of Optimal Structure of Power Network/ Problemele energeticii regionale, 1 (39), 2019, pp. 22–33.
2. Yasid N. F. M., Alawady A. A., Yousof M. F. M., Talib M. A., Kamarudin M. S. The Effect of short circuit fault in three-phase core-typed transformer. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 11, No. 1, March 2020, pp. 409–416. DOI: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp409-416
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / Копылов И.П. – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
4. Кімстач О.Ю. Врахування магнітних втрат потужності при моделюванні перехідних процесів у трансформаторах / О.Ю. Кімстач, В.О. Загурський // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон : ХНТУ, 2018. – Вип. 2 (65) – С. 182–189.
5. Пустоветов М. Ю. Математическая модель трехфазного трансформатора / М. Ю. Пустоветов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2012. – № 321 (4). – С. 97–100.
6. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов : учеб. пособие для вузов / Тихомиров П.М. – М. : Энергия, 1976. – 544 с.
7. Рогинская Л.Э. Имитационное моделирование и экспериментальное исследование трехфазного трансформатора с витыми ленточными плоскими и пространственными магнитопроводами / Л.Э. Рогинская, Д.В. Гусаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014. – Том 14, № 4. – С. 76–83.
8. Мазуренко А.А. Исследование магнитного режима трехфазного трансформатора с симметричным магнитопроводом рамной конструкции / А.А. Мазуренко, Е.Т. Смирнов // Наука и техника. – 2017. – 16(2). – С. 171–176. – URL : <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-2-171-176>
9. Орлов А.И. Снижение потерь в трехфазных трансформаторах при выравнивании несимметричной нагрузки / А.И. Орлов, С.В. Волков, А.А. Савельев // Вестник Чувашского университета. – 2018. – № (1). – С. 52–60.
10. Дивчук Т.Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т.Е. Дивчук, Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, И.М. Килимник, М.И. Коцур, Ю.С. Безверхняя // Электротехника та електроенергетика. – (2017). – № 2. – С. 56–66. – DOI: 10.15588/1607-6761-2017-2-6
11. Yarymbash D.S., Kotsur M.I., Yarymbash S.T., Kylymnyk I.M. Electromagnetic Processes Simulation of Power Transformers in Operation and in No-load Modes. Problemele Energeticii Regionale: 2020, 1(45) pp. 1–13. DOI: 10.5281/zenodo.3713396
12. Тихонов А.И. Разработка нелинейной модели трехфазного трансформатора для исследования влияния несимметрии магнитной системы на работу устройства в произвольных режимах / А.И. Тихонов, А.В. Стулов, А.А. Каржевин, А.В. Подобный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – № (1). – С. 22–31.
13. Modaragamage MDCD, Aarabi S., Liyanage HKY, Senevirathne H. and Lucas JR. Effect of size and position of pin holes on transformer core loss. KDU IRC 2020 (13th International Research Conference). 2020, pp. 150–158. ISBN 978-624-5574-14-8.
14. Коршунов А. Математическая модель асинхронного трехфазного двигателя с фазным ротором, не использующая понятие вращающегося магнитного поля / А. Коршунов // Силовая электроника. – 2019. – № 6. – С. 12–19.
15. Однокопылов Г.И. Математическая модель асинхронного двигателя в неполнофазном режиме работы / Г.И. Однокопылов, А.Д. Брагин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2013. – № 323 (4). – С. 133–137.
16. Ahmed Ibrahim jaber, Husham Idan Hussein “Mathematical driving model of three phase induction motors in stationary coordinate frame” *Diyala Journal of Engineering Sciences*, No. 4, Vol. 8, Special Issue, 2015, pp. 255–265.
17. Нго С.К. Моделирование электропривода с частотным управлением асинхронного двигателя / С.К. Нго, Н.И. До, Х.А. Зьонг // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № (3). – С. 221–228.
18. Кімстач О.Ю. Коротке замкнення між витками обмоток трансформатора / О.Ю. Кімстач, А.О. Жежело, О.В. Агафонов // Актуальные научные исследования в современном мире. Переяслав-

Хмельницький, 2019. – Вып. 6(50), ч. 6. – С. 29–34.

19. Гусев А.С. Универсальная математическая модель силовых трехфазных трансформаторов и автотрансформаторов / А.С. Гусев, С.В. Свечкарев, И.Л. Плостистый // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2007. – № 311 (4). – С. 77–81.

20. Anil Kumar, Ajay Rathore, Ashish Patra. Analysis of Power Transformer using fuzzy expert and neural network system. International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3, Issue 5, May 2012, pp. 487–492.

References

1. Kimstach, O. Yu. Definition of Optimal Structure of Power Network/ Problemele energeticii regionale, 1 (39), 2019, pp. 22–33.
2. Yasid N. F. M., Alawady A. A., Yousof M. F. M., Talib M. A., Kamarudin M. S. The Effect of short circuit fault in three-phase core-typed transformer. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 11, No. 1, March 2020, pp. 409–416. DOI: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp409-416
3. Kopylov I.P. Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh mashin / Kopylov I.P. – M.: Vyssh. shk., 2001. – 327 s.
4. Kimstach O.Iu. Urakhuvannia mahnitnykh vtriat potuzhnosti pry modeliuvanni perekhidnykh protsesiv u transformatorakh / O.Iu. Kimstach, V.O. Zahurskyi // Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – Kherson : KhNTU, 2018. – Vyp. 2 (65) – S. 182–189.
5. Pustovetov M. Yu. Matematicheskaya model trehfaznogo transformatora / M. Yu. Pustovetov // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2012. – № 321 (4). – S. 97–100.
6. Tihomirov P.M. Raschet transformatorov : ucheb. posobie dlya vuzov / Tihomirov P.M. – M.: Energiya, 1976. – 544 s.
7. Roginskaya L.E. Imitacionnoe modelirovanie i eksperimentalnoe issledovanie trehfaznogo transformatora s vitymi lentochnymi ploskimi i prostanstvennymi magnitoprovodami / L.E. Roginskaya, D.V. Gusakov // Vestnik YuUrGU. Seriya «Energetika». – 2014. – Tom 14, № 4. – S. 76–83.
8. Mazurenko A.A. Issledovanie magnitnogo rezhima trehfaznogo transformatora s simmetrichnym magnitoprovodom ramnoj konstrukcii / A.A. Mazurenko, E.T. Smirnov // Nauka i tekhnika. – 2017. – 16(2). – S. 171–176. – URL : <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-2-171-176>
9. Orlov A.I. Snizhenie poter v trehfaznykh transformatorah pri vyravniivanii nesimmetrichnoj nagruzki / A.I. Orlov, S.V. Volkov, A.A. Savelev // Vestnik Chuvashskogo universiteta. – 2018. – № (1). – S. 52–60.
10. Divchuk T.E. Podhod k opredeleniyu tokov holostogo hoda silovykh trehfaznykh transformatorov s ploskimi sterzhnevymi magnitnymi sistemami / T.E. Divchuk, D.S. Yarymbash, S.T. Yarymbash, I.M. Kilimnik, M.I. Kocur, Yu.S. Bezverhnyaya // Elektrotehnika ta elektroenergetika. – (2017). – № 2. – S. 56–66. – DOI: 10.15588/1607-6761-2017-2-6
11. Yarymbash D.S., Kotsur M.I., Yarymbash S.T., Kylymnyk I.M. Electromagnetic Processes Simulation of Power Transformers in Operation and in No-load Modes. Problemele Energeticiei Regionale: 2020, 1(45) pp. 1–13. DOI: 10.5281/zenodo.3713396
12. Tihonov A.I. Razrabotka nelineynoy modeli trehfaznogo transformatora dlya issledovaniya vliyaniya nesimmetrii magnitnoy sistemy na rabotu ustroystva v proizvolnykh rezhimakh / A.I. Tihonov, A.V. Stulov, A.A. Karzhev, A.V. Podobnyj // Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta. – 2020. – № (1). – S. 22–31.
13. Modaragamage MDCD, Aarabi S., Liyanage HKY, Senevirathne H. and Lucas JR. Effect of size and position of pin holes on transformer core loss. KDU IRC 2020 (13th International Research Conference). 2020, pp. 150–158. ISBN 978-624-5574-14-8.
14. Korshunov A. Matematicheskaya model asinhronnogo trehfaznogo dvigatelya s faznym rotorom, ne ispolzuyushaya ponyatie vrashayushegosya magnitnogo polya / A. Korshunov // Silovaya elektronika. – 2019. – № 6. – S. 12–19.
15. Odnokopylov G.I. Matematicheskaya model asinhronnogo dvigatelya v nepolnofaznom rezhime raboty / G.I. Odnokopylov, A.D. Bragin // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2013. – № 323 (4). – S. 133–137.
16. Ahmed Ibrahim jaber, Husham Idan Hussein “Mathematical driving model of three phase induction motors in stationary coordinate frame” Diyala Journal of Engineering Sciences, No. 4, Vol. 8, Special Issue, 2015, pp. 255–265.
17. Ngo S.K. Modelirovanie elektroprivoda s chastotnym upravleniem asinhronnogo dvigatelya / S.K. Ngo, N.I. Do, H.A. Zyong // Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2014. – № (3). – S. 221–228.
18. Kimstach O.Iu. Korotke zamknennia mizh vitykami obmotok transformatora / O.Iu. Kimstach, A.O. Zhezhelo, O.V. Ahafonov // Aktualnye nauchnye yssledovaniya v sovremennom myre. Pereiaslav-Khmelnitskyi, 2019. – Вып. 6(50), ч. 6. – С. 29–34.
19. Gusev A.S. Universalnaya matematicheskaya model silovykh trehfaznykh transformatorov i avtotransformatorov / A.S. Gusev, S.V. Svechkar, I.L. Plodisty // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2007. – № 311 (4). – С. 77–81.
20. Anil Kumar, Ajay Rathore, Ashish Patra. Analysis of Power Transformer using fuzzy expert and neural network system. International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3, Issue 5, May 2012, pp. 487–492.

Надійшла/Paper received : 13.03.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, М.В. ІЛЬЧЕНКО

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

С.С. КОТЛЯР

ПАТ «НВО «КЗА»

КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИЛАДОВИХ КОМПЛЕКСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ

У статті створено та наведено детальну класифікацію сучасних автоматизованих приладових комплексів стабілізації, яка систематизує принципи побудови сучасних стабілізаторів.

У статті розкрито принципи класифікації стабілізаторів: за об'єктом стабілізації, за кількістю площин стабілізації, за видом вимірюваної координати, за функцією гіроскопа, по типу виконавчого приводу, по типу регулювання, по типу схемо-технічного виконання.

Показано принцип роботи цифрової приладової системи вимірювання механічних параметрів та стабілізації за допомогою функціональної і структурної схем каналу автоматизованого приладового комплексу стабілізації.

Ключові слова: стабілізатор, приладовий комплекс стабілізації.

O.M. BEZVESILNA, M.V. ILCHENKO

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

S.S. KOTLIAR

PAC "RPA"KAP"

CLASSIFICATION OF AUTOMATED STABILIZATION INSTRUMENT COMPLEXES

The article is devoted to automated instrument stabilization systems. The authors systematized and presented the classification of modern stabilizers.

High-precision automated instrument stabilization systems are used in light armoured vehicles, performing the functions of search acceleration, determining the coordinates of moving objects in extreme conditions; observation of ground, air and surface targets. Also promising is the use of automated instrumentation stabilization systems in aviation gravimetry for the exhibition of the axes of sensitivity of navigation sensing elements (gravimeters).

A characteristic feature of the development of modern technology is the improvement of technical characteristics of all instrumentation systems that are part of the product management system, including stabilizers.

This process is due to the transition to a digital element base, the use of new information sensors, new optoelectronic surveillance devices and the development of new circuit design solutions, which, in turn, increases the speed of equipment and its manoeuvrability due to greater automation.

The article reveals the principle of classification of stabilizers: by object of stabilization, by number of stabilization planes, by type of measured coordinate, by gyroscope function, by type of actuator, by type of regulation, by type of circuit design. The functioning of the digital instrumental system for measuring mechanical parameters and stabilization by means of functional and structural diagrams of the channel of the automated instrumental stabilization complex is shown.

The above is a new, more detailed classification of automated instrumentation stabilization systems, which systematizes the principles of construction of modern stabilizers.

Keywords: stabilizer, instrument stabilization complex.

Вступ

Високоточні автоматизовані приладові комплекси стабілізації можуть використовуватись у легкій броньованій техніці (ЛБТ), виконуючи функції прискорення пошуку, визначення координат рухомих об'єктів (РО) в екстремальних умовах; спостереження за наземними, повітряними та надводними цілями. Також перспективним є використання автоматизованих приладових комплексів стабілізації в авіаційній гравіметрії для виставки осей чутливості навігаційних чутливих елементів (гравіметрів).

Аналіз приладового складу, структури та динамічних параметрів блоків відомих автоматизованих приладових цифрових комплексів стабілізації [1–5] показав, що для підвищення точності стабілізації та швидкодії резервів немає. Тому вимоги до точності засобів та методів вимірювання визначених вище механічних величин стабілізаторів стали значно вищими.

Досягнення високої точності таких комплексів стало можливим завдяки високій якості сучасних елементів гіроскопічної техніки і значному розвитку теорії гіроскопічних пристроїв, що розроблені Криловим А.Н., Булгаковим Б.А., Ішлінським О.Ю., Ройтенбергом Я.М., Рівкіним С.С., Павловим В.А., Поповим Є.Г., Лур'є А.І., Солодовніков В.В. та ін. Теорія лінійних і нелінійних систем наведення була розроблена Солодовніковим В.В., Чемодановим Б.К., Лакотой Н.А. Теорія цифрових слідкуючих приводів була розроблена Бесекерським В.А., Федоровим С.М. Теорія гіроскопічних систем стабілізації розроблена Павловським М.А., Пельпором Д.З., Одинцовим А.О., Самотокіним Б.Б., Бубликом Г.Ф., Безвесільною О.М., Збруцьким О.В., Рижковим Л.М., Бондарем П.М., Ривкіним С.С., Ройтенбергом Я.Н., Фабрикантом Е.А., Сайдовим П.І. Теорія оптимальних систем керування – Беллманом Р., Полянським В.Г., Граммером Р., Гостьовим В.І., Єськовим Д.І. та ін. [1–4].

Однак, у літературі недостатньо робіт, присвячених детальній класифікації сучасних автоматизованих приладових комплексів стабілізації (АКС), в яких було б розв'язано задачі підвищення їх

точності та швидкодії.

Тому **метою даної статі** є створення детальної класифікації сучасних автоматизованих приладових комплексів стабілізації, які мають значно більшу точність та швидкість від відомих.

Характерною рисою розвитку сучасної техніки є покращення технічних характеристик всіх приладових комплексів, які входять до складу системи управління виробом або РО, у тому числі і стабілізаторів.

Цей процес обумовлений переходом на цифрову елементну базу, використанням нових сенсорів інформації, нових оптико-електронних приладів обзору місцевості та розробкою нових схемо-технічних рішень побудови техніки, що, у свою чергу, підвищує рівень швидкодії техніки та її маневреність за рахунок більшого рівня автоматизації управління.

З іншого боку, вимоги до точності, швидкодії систем управління та стабілізації, постійно підвищуються, що потребує їх удосконалення.

При цьому необхідно враховувати, що сучасні рухомі об'єкти мають значно більші швидкості, на них діють значно більші перевантаження та неконтрольовані механічні збурення: удари, вібрації (таблиця 1 [1]).

Таблиця 1

Середні параметри коливань корпусу легкої броньованої техніки під час руху середнє-пересіченою місцевістю зі швидкістю до 20 км/год

Види коливань	Кутові коливання		
	Амплітуда, град	Швидкість, %с	Частота, Гц
Повздовжні	2,5	8,25	1,1
Горизонтальні	1,2	1,6	0,6
Поперечні	1,8	6,3	0,8

Тому, вимоги до точності засобів та методів вимірювання визначених вище механічних величин стабілізаторів стали значно жорсткішими.

Науково-технічний прогрес у галузі автоматизованих приладових комплексів вимірювання механічних величин та стабілізації потребує удосконалення компонентів елементної бази системи керування, використання сучасних цифрових приладів вимірювання кутових швидкостей для покращення тактико-технічних характеристик стабілізаторів, які мають прийти на заміну аналоговим приладам.

Рішення зазначених задач становить предмет дослідження даної статі.

У багатьох наукових виданнях [1–3] наводяться окремі напрямки принципів побудови та класифікації стабілізаторів. Для правильного розуміння принципів побудови наведемо основні принципи їх класифікації (рис. 1):

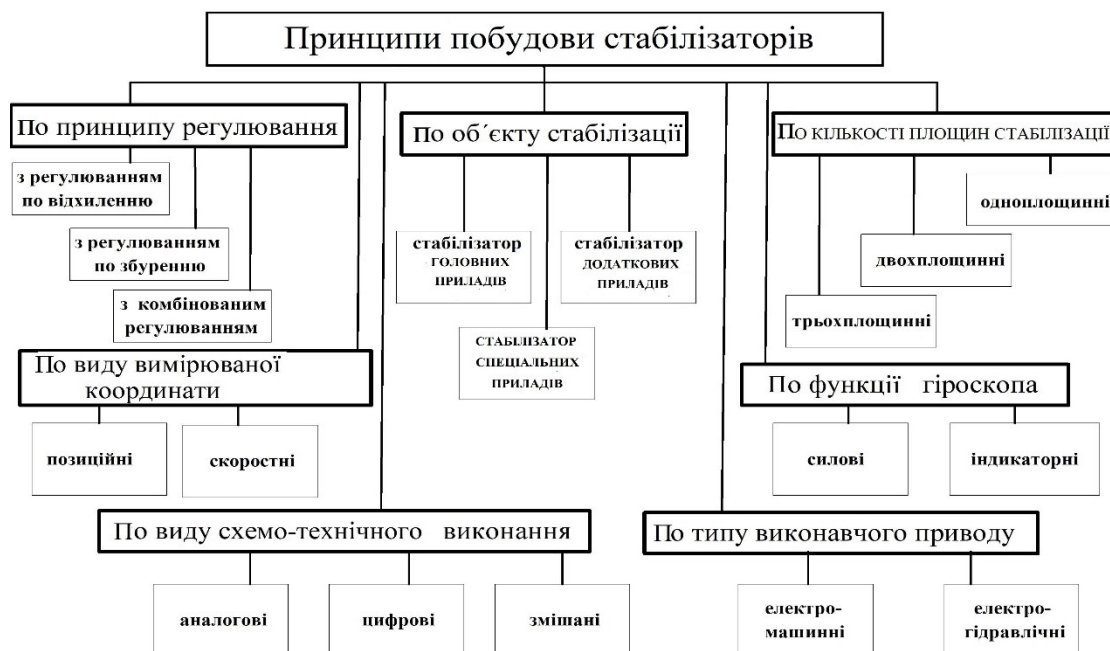


Рис. 1. Класифікація автоматизованих приладових комплексів стабілізації

1) *за об'єктом стабілізації* – це об'єкт, положення якого стабілізується:

- стабілізатори головних приладів,
- стабілізатори додаткових приладів,

– стабілізатори спеціальних приладів;

2) за кількістю площин стабілізації:

– одноплощинні (стабілізатори тільки в одній, як правило, вертикальній площині),

– двоплощинні (стабілізатори у двох, вертикальній та горизонтальній, площинах),

– триплощинні (стабілізатори у вертикальній, горизонтальній площинах та по куту крену);

3) за видом вимірюваної координати:

– позиційні (стабілізатори такого типу запам'ятовують задане положення (позицію) та вимірюють кутове відхилення горизонтального та вертикального каналів від заданого положення гіроскопічними датчиками кута);

4) за функцією гіроскопа:

– силові (із стабілізуючим моментом, достатнім для стабілізації об'єкта),

– індикаторні (з гіроскопічним приладом, що виконує функцію індикатора відхилення),

– швидкісні (стабілізатори такого типу вимірюють тільки абсолютну кутову швидкість переміщення об'єкта, який стабілізується, за допомогою гіроскопічних датчиків абсолютної кутової швидкості - гіротахometrів);

5) по типу виконавчого приводу:

– електромашинні (із стабілізуючим моментом, що створює електричний двигун),

– гідравлічні (використовують стабілізуючий момент, що створює гідропривід);

6) по типу регулювання:

– по відхиленню,

– по збуренню,

– комбіновані;

7) по типу схеми -

технічного виконання:

– аналогові (виконані на транзисторах, резисторах, діодах),

– цифрові (виконані на цифрових мікропроцесорах з можливістю проведення перепрограмування без апаратного доопрацювання апаратури),

– комбіновані (в яких присутні цифрові та аналогові елементи схем).

Крім того, є ще окремих тип – стабілізатори поля зору, які поділяються на стабілізатори із:

– спільною стабілізацією (або «залежною»), в яких блок, що стабілізується, пов'язаний (жорстко чи через кінематику) з приладом спостереження за місцевістю,

– автономною стабілізацією (або «незалежною»). В них до складу системи управління виробом (СУВ) вводиться прилад із стабілізованим полем зору (СПЗ) або стабілізованою лінією візування (СЛВ).

Стабілізатори, в тому числі і стабілізатори СВУ-500, як об'єкти автоматичного регулювання [3, 4], побудовані за класичною схемою, що включає в себе об'єкт регулювання та регулятор (рис. 2).

Виходячи зі схеми на рис.2, розглянемо, як основні елементи цієї схеми знайшли своє відображення у структурній схемі цифрової приладової системи вимірювання механічних параметрів та стабілізації (рис. 3).

Сигнал $U_{СИГН.}$ – сигнал з сенсорів інформації для автоматизованого приладового комплексу стабілізації. Це сигнал з датчиків кутової швидкості по каналу вертикального наведення ДКШ-ВН (ГТ46) та з ДКШ-ГН (ГТ46-01) по каналу горизонтального наведення.

Сигнал $U_{УПР.}$ – сигнал управління з обчислювача стабілізатора. Це сигнал з блоку управління БУ1022-04 (рис.3), що надходить на блоки керування двигуном БКД14-02 ГН (ВН).

Сигнал $Z_{ВХ.}$ – сигнал на вході двигуна. Це сигнал, що надходить з БКД14-02 на двигуни ЕДМ20М ГН(ВН).

Сигнал $M_{ДВ.}$ – механічний обертаючий момент, що передається з валу двигуна на механічний привід – механізм повороту (механізм підйому) для усунення розузгодження між заданим положенням та поточним положенням об'єкта стабілізації.

Сигнал $U_{ОС.}$ – сигнал зворотного зв'язку по струму або напрузі. У стабілізаторі (рис. 3) одночасно використовуються обидва сигнали по струму та напрузі.

На підставі наведеного вище, робимо висновок, що регулятор – це комплекс приладів, датчиків та механізмів, що працює за заданою програмою та автоматично компенсує механічні впливи на об'єкт регулювання. Об'єкти регулювання – це механізми (блок наведення по каналу ВН та блок наведення по каналу ГН), в яких постійно регулюються вихідні характеристики $Z_{ВХ.}$.

Висновки: на основі викладеного вище, можемо сказати, що створено та наведено вище нову більш детальну класифікацію автоматизованих приладових комплексів стабілізації, яка систематизує принципи побудови сучасних стабілізаторів. Показано принцип роботи цифрової приладової системи вимірювання механічних параметрів та стабілізації за допомогою функціональної і структурної схем каналу автоматизованого приладового комплексу стабілізації.

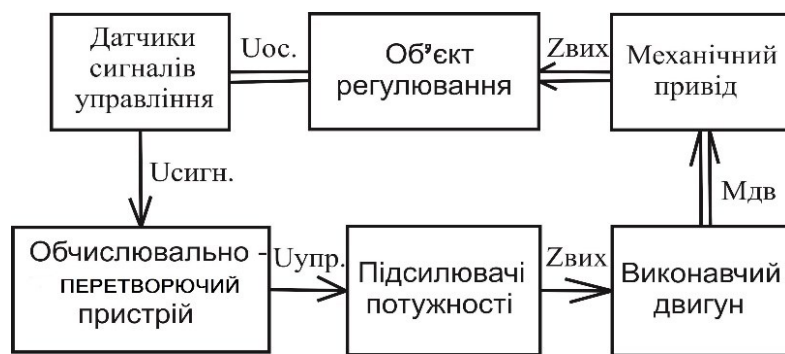


Рис. 2. Функціональна схема каналу автоматизованого приладового комплексу стабілізації

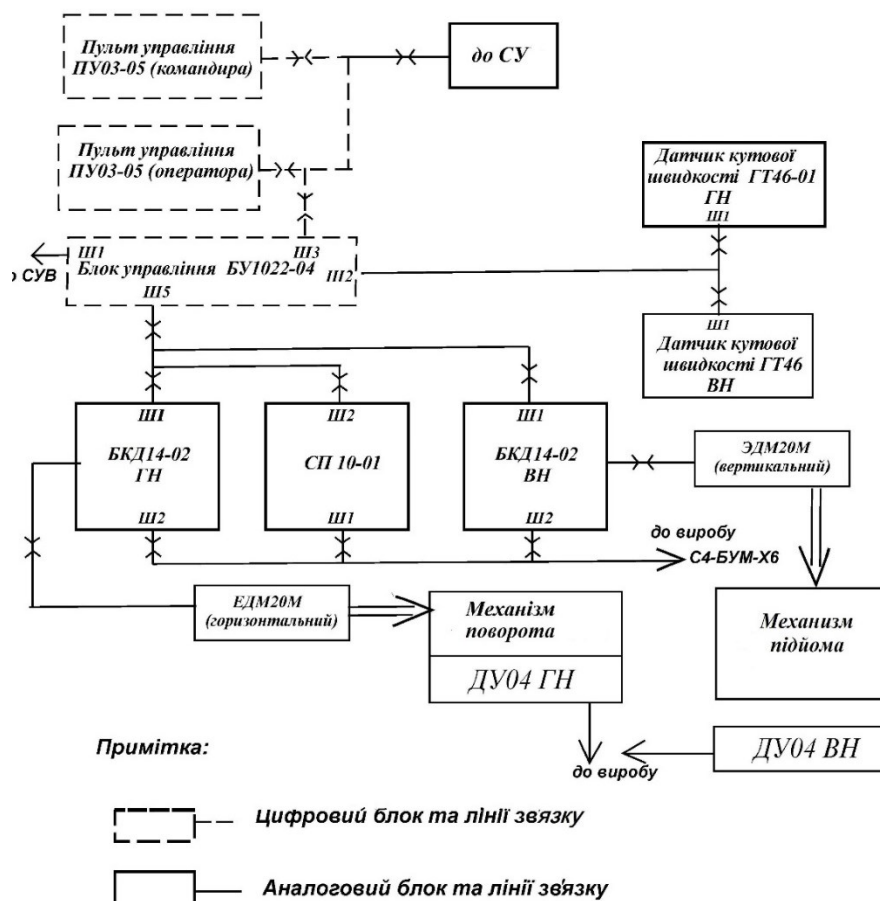


Рис. 3. Структурна схема цифрового приладового комплексу вимірювання механічних параметрів та стабілізації

Література

1. Лепешинский И.Ю. Автоматические системы управления вооружением [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.Ю. Лепешинский, П.М. Варлаков, Д.Н. Захаров, О.И. Чикирев. – Омск. – 2010. – Режим доступа : <http://mslstarussia.ru/forum/dowland/life.php?id=36773>.
2. Безвесільна О.М. Наукові, технологічні, організаційні та впроваджувальні основи створення нового комплексу стабілізатора озброєння легких броньованих машин : монографія / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук. – Київ : НПО «Пріоритети», з грифом ЖДТУ, 2015. – 176 с.
3. Оптимізація, ідентифікація, алгоритмічна обробка параметрів чутливих елементів стабілізатора легкої броньованої техніки : монографія / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, С.П. Маляров, Л.О. Чепук. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 217 с.
4. Системи наведення та стабілізації озброєння : монографія / О.М. Безвесільна, В.П. Квасніков, В.Г. Цірук, В.В. Чиковані. – Київ : ЖДТУ, 2014. – 176 с.
5. Bezvesilna O. Devising and introducing a procedure for measuring a dynamic stabilization error in weapon stabilizers / O. Bezvesilna, O. Petrenko, V. Halytskyi, M. Ilchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system. – Kharkiv, 2020. – № 1/9(103). – P. 39–45.

References

1. Lepeshinskij I.Yu. Avtomaticheskie sistemy upravleniya vooruzheniem [Elektronij resurs] : uchebnoe posobie / I.Yu. Lepeshinskij, P.M. Varlakov, D.N. Zaharov, O.I. Chikirev. – Omsk. – 2010. – Rezhim dostupu : <http://mslstarussia.ru/forum/dowland/life.php?id=36773>.
2. Bezvesilna O.M. Naukovi, tekhnolohichni, orhanizatsiini ta vprovadzhuvalni osnovy stvorennia novoho kompleksu stabilizatora ozbroiennia lehkykh bronovanykh mashyn : monohrafiia / O.M. Bezvesilna, V.H. Tsiruk. – Kyiv : NPO «Priorytety», z hryfom ZhDTU, 2015. – 176 s.
3. Optymizatsiia, identyfikatsiia, alhorytmichna obrobka parametriv chutlyvykh elementiv stabilizatora lehkoj bronovanoi tekhniki : monohrafiia / O.M. Bezvesilna, V.H. Tsiruk, S.P. Maliarov, L.O. Chepiuk. – Zhytomyr : ZhDTU, 2015. – 217 s.
4. Systemy navedennia ta stabilizatsii ozbroiennia : monohrafiia / O.M. Bezvesilna, V.P. Kvasnikov, V.H. Tsiruk, V.V. Chykovani. – Kyiv : ZhDTU, 2014. – 176 s.
5. Bezvesilna O. Devising and introducing a procedure for measuring a dynamic stabilization error in weapon stabilizers / O. Bezvesilna, O. Petrenko, V. Halytskyi, M. Ilchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system. – Kharkiv, 2020. – № 1/9(103). – P. 39–45.

Надійшла/Paper received : 30.03.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

О.Я. ВОЛОШАНЮК, О.В. НЕЧИПОРЕНКО

Черкаський державний технологічний університет

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕДУКЦІЙНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК, ПРАЦЮЮЧИХ НА БАЗІ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті проведена оцінка показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок, працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств. Головними показниками ефективності визначено тиск та температуру пари на виході з установки. У результаті проведеного дослідження теплова потужність системи коливалася у межах від 37,32 МВт до 48,82 МВт, температурний діапазон пари на виході з РОУ склав 265-280 °С, тиск пари на виході з РОУ тримався в межах 22-22,8 кгс/см².

Ключові слова: редукційно-охолоджувальна установка, теплопостачання, промислове підприємство.

O.YA. VOLOSHANUK, O.V. NECHIPORENKO

Cherkasy State Technological University

EVALUATION OF EFFICIENCY INDICATORS OF REDUCTION AND COOLING INSTALLATIONS WORKING ON THE BASIS OF DIFFERENT HEAT SUPPLIES OF INDUSTRIAL SUPPLY SUPPLIES

The article evaluates the efficiency of reduction and cooling units operating on the basis of various sources of heat supply of industrial enterprises. The main efficiency indicators are the pressure and temperature of steam at the outlet of the installation. As a result of the study, the thermal capacity of the system ranged from 37.32 MW to 48.82 MW, the temperature range of steam at the outlet of the ROU was 265-280 °C, the steam pressure at the outlet of the ROU was in the range of 22-22.8 kgf/cm².

Key words: reduction-cooling installation, heat supply, industrial enterprise.

Вступ

В даний час, в умовах економічної нестабільності та кризи, спаду виробництва, зростання цін на природне паливо, гостро постає питання економії енергоресурсів, оптимізації виробництва і вдосконалення технологічного процесу. За останні роки, характерною особливістю енергетики України стало різке зниження споживання енергоресурсів промисловими підприємствами, що призводить до зниження економічних та експлуатаційних показників всіх ланок теплоенергетичної системи промислових підприємств. Особливо серйозною проблемою у швидкоплинній ціновій політиці держави на енергоресурси є утворення деяких перекосів у внутрішньогалузевому ціноутворенні при визначенні вартості енергоресурсів, що виробляються. Тому, для покриття необхідного промислового навантаження використовують передбачені тепловою схемою і зазвичай призначені для аварійного або резервного покриття частини цього навантаження постійно-діючі редукційно-охолоджувальні установки. При роботі редукційно-охолоджувальних установок (РОУ) безповоротно «зникає» потенціал теплоносія. Крім того, деякі надлишки вторинного газу (доменний, коксовий та ін.) на промисловому підприємстві можна направити на отримання теплової енергії для покриття теплофікаційних навантажень на опалення і гаряче водопостачання, у зв'язку з гострою необхідністю створення на ринку енергоресурсів більш конкурентоспроможної продукції у вигляді гарячої води для теплових мереж. Основними частинами системи теплоенергопостачання промислових підприємств є: 1) підприємства, що виробляють необхідні види енергоресурсів (ЕР); 2) системи транспорту і розподілу ЕР між споживачами (теплові та електричні мережі); 3) споживачі енергетичних ресурсів.

Розрізняють два види теплопостачання – централізоване і децентралізоване. При централізованому теплопостачанні джерело теплопостачання ТЕЦ, АТЕЦ або котельня розташовані на значній відстані від самого віддаленого споживача теплоти, зазвичай рівному від декількох до десяти кілометрів. В цьому випадку необхідно спорудження теплової мережі, що забезпечує доставку теплоносія до споживача. В якості теплоносія для систем центрального опалення житлових будинків і гарячого водопостачання (ГВП) зазвичай використовується вода. При температурах теплоносія 100–150 °С вода застосовується і в різних технологічних промислових процесах. При температурах теплоносія понад 150 °С в промисловості частіше використовують пар.

На території України отримали однакове поширення два способи відпустки тепла з водяної теплової мережі – закритий і відкритий. Закритий спосіб використовується при жорсткій місцевій воді, відкритий – при м'якій. При закритому способі вода з теплової мережі не забирає, а нагріває в теплообмінниках холодну водопровідну воду. В цьому випадку мережева вода практично повністю, за винятком витоків, повертається з теплової мережі в джерело теплопостачання, де знову відбувається її нагрів і повернення в теплову мережу. При відкритому способі відпустки теплоти вода для ГВП або технологічних потреб забирається з теплової мережі і після використання зливається у каналізацію.

У парових системах теплопостачання зазвичай використовується насичена або слабо перегріта пара. Це дозволяє забезпечити в процесі конденсації пари практично постійну температуру в технологічній зоні робочого процесу. Пара подається паропроводом. Конденсат, що утворюється в теплообмінних пристроях,

збирається в конденсатозбірниках і потім транспортується по конденсатопроводу до джерела теплопостачання. Якщо конденсат виявляється забрудненим, то він зливається у каналізацію.

Розподіл джерел виробітки теплової енергії на промисловому підприємстві з урахуванням показників ефективності редуційно-охолоджувальної установки дозволило б зменшити економічні втрати за рахунок максимального використання енергоресурсів і вирішити проблему з надлишком потужностей в теплопостачанні промислових підприємств.

Саме тому, оцінка показників ефективності редуційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств, стає все більш важливою і актуальною.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Сучасні дослідження редуційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання доводять не аби який інтерес вчених до зазначеної теми. Проблеми підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів шляхом енергозбереження розкрито В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андрєєвим, М. Ю. Бабаком та О. В. Сенецьким [1]. Авторами виконано аналіз стану й потенціалу розвитку світової та базової енергетики України. Показано, що значні резерви містяться у «малій» енергетиці, яка є головним споживачем паливно-енергетичних ресурсів.

Детальний аналіз теплових схем ТЕС, особливості та вимоги до розташування ТЕС, а також проблеми, що виникають при перетворенні енергії при експлуатації ТЕС розкрив Ю. О. Гічов [2].

Ф.І. Лухтура, А.В. Пижигов, О.А. Хлестова [3] дослідили шляхи підвищення теплової ефективності та надійності промислової ТЕЦ. Отримані результати можуть використовуватися для оцінки та моніторингу доцільності впровадження парових турбін малої потужності в системах теплопостачання промислових об'єктів і комунальних господарств.

Моделювання АСР температури пару за редуційно-охолоджувальною установкою енергоблоку АЕС на базі технологічної ділянки редуційно-охолоджувальної установки, що входить у другий контур енергоблоку АЕС здійснили В. О. Терлецький та Г. П. Лисюк [4]. Науковцями розроблена автоматизована система регулювання температури за редуційно-охолоджувальною установкою, в якій управління РОУ здійснюється за допомогою цифрового ПІ-регулятора.

Також варто відмітити роботи таких науковців, як Л. В. Високих, В. В. Клименко та В. І. Кравченко [5], В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андрєєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький [1], В.В. Клименко, В. І. Кравченко, Р. В. Телюта [6], Т. Maurer [7], S. X. Li, J. S. Wang [8], M. N. Cherynyi, N. V. Rezydent [9], A. Emadi [10].

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень, можна говорити про те, що наукових робіт, які б максимально повно розглядали показники ефективності редуційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств з урахуванням специфіки та особливостей, на даний момент немає.

Об'єкт, мета та завдання дослідження

Об'єкт дослідження – редуційно-охолоджувальна установка.

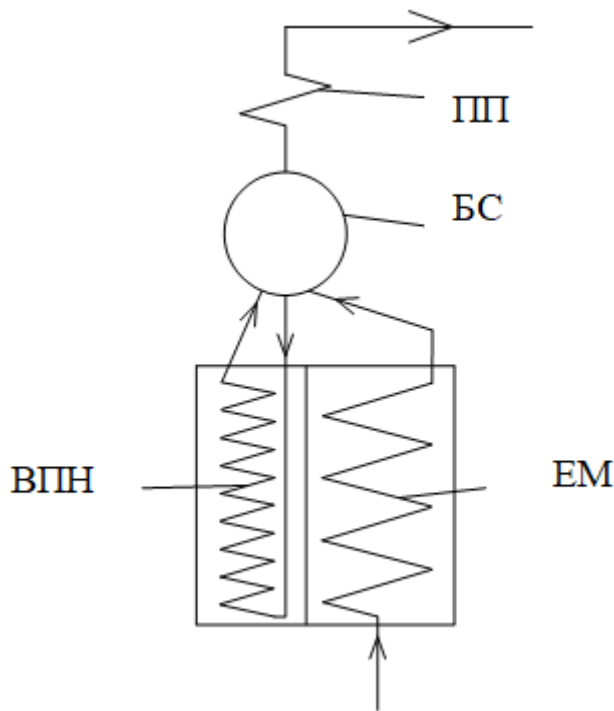
Мета дослідження – оцінка показників ефективності редуційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств. Для досягнення поставленої мети, у рамках статті, необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) Розкрити принципи формування системи теплопостачання з залежності від виду теплоносія.
- 2) Навести умовні схеми систем теплопостачання в залежності від обладнання, що використовується. Детально описати принцип роботи кожної схеми.
- 3) Запропонувати методологію розрахунку показників ефективності роботи редуційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання.
- 4) Розрахувати показники ефективності роботи редуційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання.
- 5) Здійснити аналіз результатів ефективності редуційно-охолоджувальних установок та провести оцінку точності розрахунку.

Матеріали та методи досліджень ключових показників ефективності редуційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств

В роботі використані матеріали з наявного досвіду в реалізації теплопостачання промислових підприємств, а також розглянута специфіка застосування редуційно-охолоджувальних установок на базі різних систем теплопостачання, здійснено оцінку ключових показників ефективності редуційно-охолоджувальних установок. В роботі використані наступні методи досліджень: аналіз, узагальнення, систематизація, побудова аналогій і синтез наявних даних.

Формування системи теплопостачання в залежності від виду теплоносія. Система теплопостачання повинна забезпечувати споживача потрібною кількістю теплоти необхідної якості (тобто теплоносієм необхідних параметрів). У децентралізованих системах джерело тепла і споживачі знаходяться так близько, що перенесення теплоти йде без використання теплової мережі. Децентралізовані системи поділяються на [11]:



ПП – перегрівач пари; ВПН – випарювальні поверхні нагріву;
БС – барабан-сепаратор; ЕМ – економайзер
Рис. 1. Умовна схема парового котла у рамках системи теплопостачання

- індивідуальні (в кожному приміщенні своє джерело теплоти – піч, квартирне опалення);

- місцеві (від місцевої або індивідуальної котельні – центральне опалення).

У системах централізованого теплопостачання джерело теплоти і споживачі тепла так відокремлені, що перенесення теплоти відбувається за спеціальними тепловими мережами. Централізоване теплопостачання ділиться на групове (група будівель), районне (кілька груп будівель – житловий район), міське (кілька районів) та міжміське (кілька міст від одного джерела). Комплекс установок і обладнання

для підготовки теплоносія на джерелі (поглинання теплоти), транспортування і розподілу теплоносія (теплова

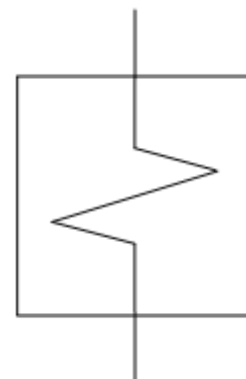


Рис. 2. Умовна схема водяного котла у рамках системи теплопостачання

мережа) і використання теплоносія у споживачів (віддача теплоти) це система централізованого теплопостачання. Відповідно до виду теплоносія системи теплопостачання поділяють на парові, водні та пароводні. На формування дієвої системи теплопостачання здійснює вплив тип встановлених в котельні котлів і параметри теплоносія, що виробляється котлами, а також вид і параметри теплоносія, який необхідний кінцевому споживачеві [12]. Котли встановлені в котельні передбачено парові (рис. 1) або водні (рис. 2).

Призначення редуційно-охолоджувальної установки – зниження параметрів пари за рахунок дроселювання і охолодження її водою, введеною в охолоджувач пари у розпорошеному стані [13]. Розрізняють декілька видів РОУ: а) підвищеного і низького тисків; б) високого тиску; в) розпалювальні РОУ. Подача охолоджуючої води в РОУ виробничих котельнь зазвичай здійснюється з магістралі живильної води після деаератора. Схема РОУ представлена на рис. 3.

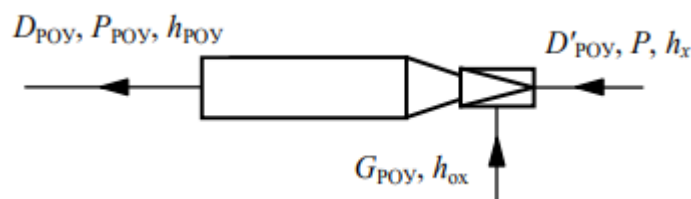


Рис. 3. Схема редуційно-охолоджувальної установки

Витрати редуцьованої пари D_{POY} з тиском P_{POY} і охолоджуючої води G_{POY} визначають з рівнянь теплового і матеріального балансів РОУ:

$$D'_{POY} h_x + G_{POY} h_{ox} = D_{POY} h_{POY} \quad (1)$$

$$D'_{POY} + G_{POY} = D_{POY} \quad (2)$$

Вирішуючи спільно рівняння (1) і (2), отримаємо

$$G_{POY} = \frac{D'_{POY} (h_x - h_{POY})}{h_{POY} - h_{ox}} \quad (3)$$

Тут D'_{POY} – витрата гострої пари при тиску P і ступеню сухості x , кг/с; $h_x = h'' - (1-x)r$ – ентальпія гострої пари, кДж/кг; h'' – ентальпія сухої насиченої пари при тиску P , кДж/кг; r – теплота

пароутворення води у котлі при тиску P , кДж/кг; h_{POY} – ентальпія скороченої пари, кДж/кг; h_{ox} – ентальпія охолоджуючої води, що надходить в РОУ, кДж/кг.

Умовна схема редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання наведена на рис. 4.

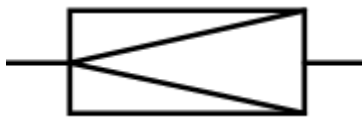


Рис. 4. Умовна схема редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання

Парова система теплопостачання. Паровий котел виступає головним об'єктом, який здійснює нагрівання води до виділення пари. Пара з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку направляється, за допомогою паропроводу, до споживача. Конденсат використаної у споживача пари, повертається в котельню, через конденсатопровід, та надходить в деаератор, який служить для видалення з живильної води розчинених у ній газів і, в першу чергу, кисню повітря. Втрати конденсату компенсуються очищеною водою, яка також подається в деаератор. Очищення води здійснюється у очищувачі води, що компенсує втрати конденсату. Суміш конденсату і додаткової очищеної води після деаерації направляється в котел в якості живильної води. Умовна схема парової системи теплопостачання наведена на рис. 5.

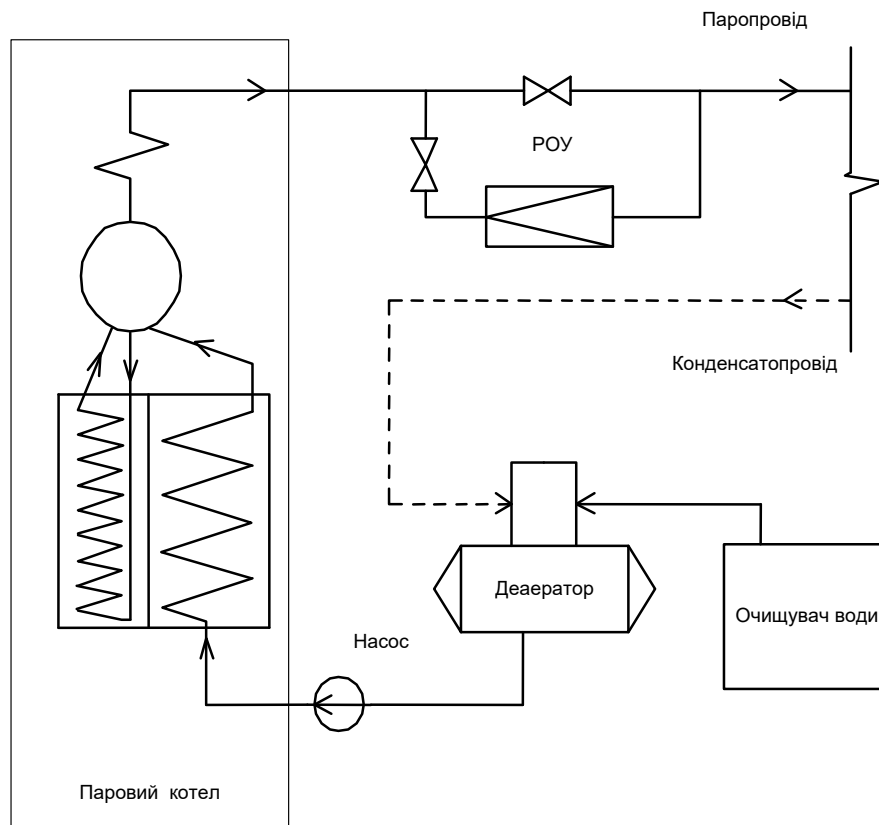


Рис. 5. Умовна схема парової системи теплопостачання з паровим котлом

Водяна система теплопостачання. Вода з мережі, використана у споживачів, після підживлення і підвищення тиску в мережевому насосі, який призначений для підвищення тиску води з мережі з метою подолання опору мережевих підігрівачів, теплової мережі та забезпечення тиску нагрітої води з мережі відповідно до вимог споживачів надходить, в підігрівачі. Інтенсивність підживлення залежить від ступеня відхилення тиску води в мережі у зворотній лінії від номінального значення.

Пара з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку направляється в мережеві підігрівачі (поверхневі пароводяні теплообмінники), де нагріває воду і конденсується. Конденсат відводиться в деаератор, який служить для видалення з живильної води розчинених у ній газів і, в першу чергу, кисню повітря.

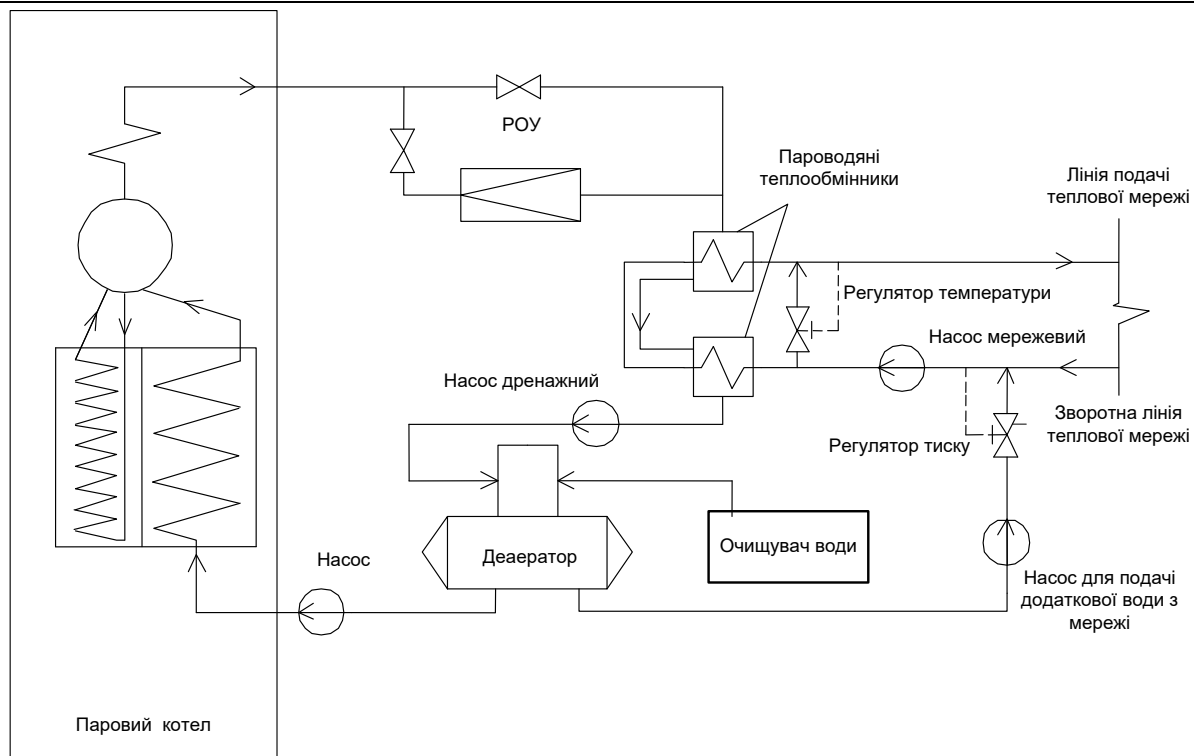


Рис. 6. Умовна схема водяної системи тепlopостачання з паровим котлом

Регулювання температури води з мережі, що надходить на лінію подачі теплової мережі, здійснюється в бік зниження шляхом подачі води зі зворотної лінії теплової мережі. Втрати конденсату і води з мережі компенсуються додатковою очищеною водою, що надходить з очищувача води.

Пароводяна система тепlopостачання. По суті, це об'єднання парової та водяної систем тепlopостачання. Умовна схема пароводяної системи тепlopостачання з паровим котлом наведена на рис. 7.

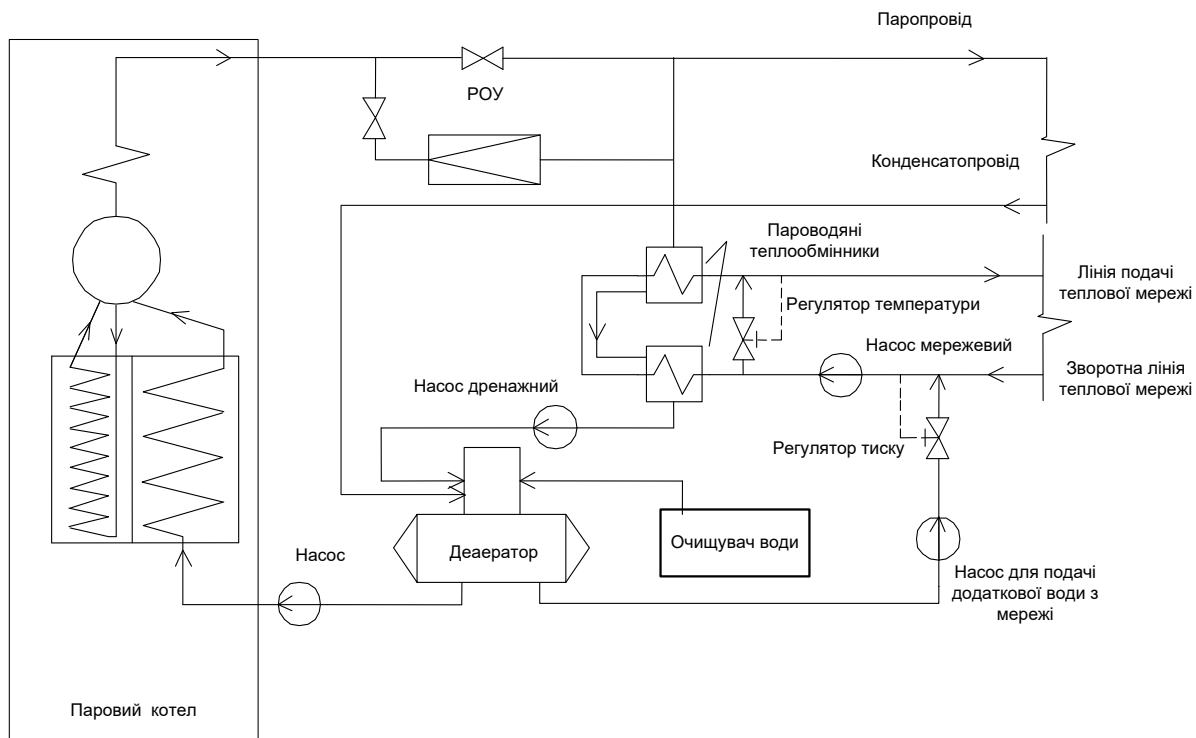


Рис. 7. Умовна схема пароводяної системи тепlopостачання з паровим котлом

Комбінована система тепlopостачання. Однією з дієвих систем тепlopостачання є система з підігрівом води з мережі у середині барабану котла. Умовна схема пароводяної системи тепlopостачання з паро водогрійним котлом наведена на рис. 8. Вбудований у барабан котла підігрівач мережевої води являє собою теплообмінник змішувального типу.

Вода з мережі надходить у барабан котла через стабілізуючий короб у порожнину розподільного

короба, який має перфороване ступеневе днище. Перфорація забезпечує струменеву подачу води назустріч пароводяній суміші, що надходить з випарних поверхонь нагріву котла, що сприяє нагріванню води.

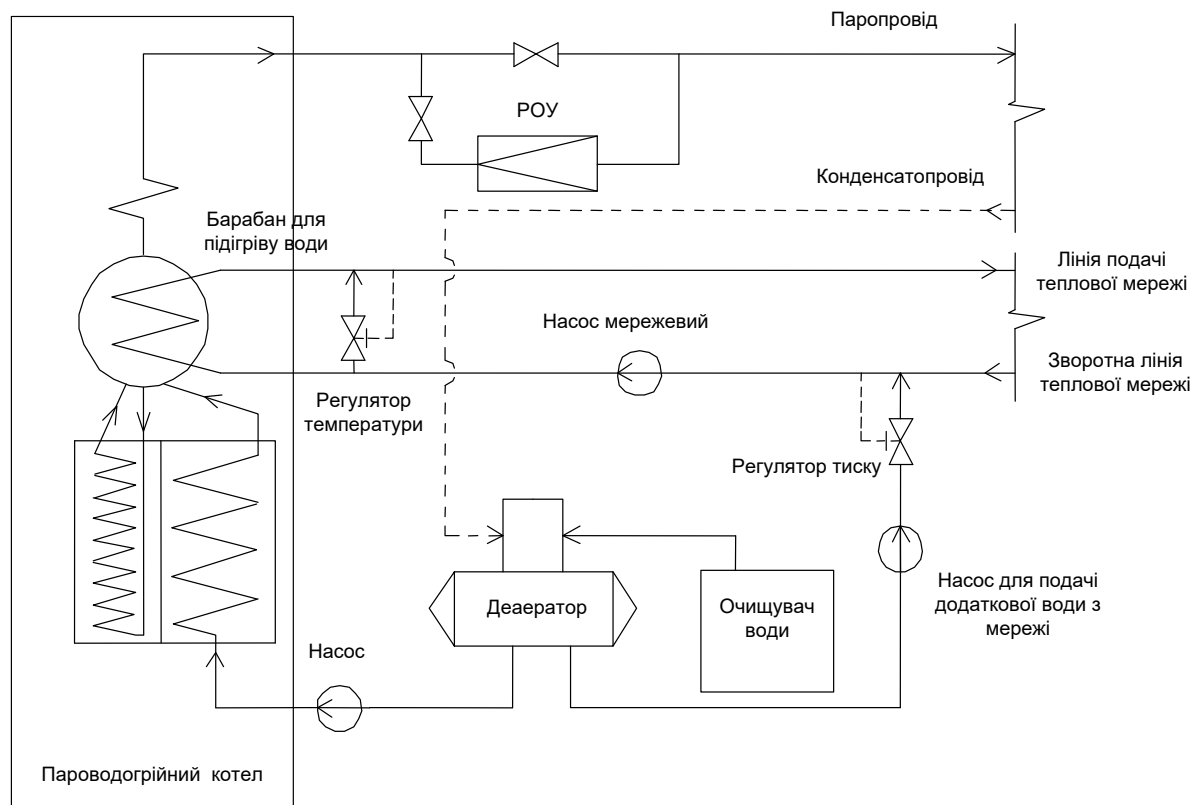


Рис. 8. Умовна схема пароводяної системи теплопостачання з паро водогрійним котлом та вбудованим барабаном для нагріву води

Загальна продуктивність котла системи теплопостачання у своєму складі має два основних показники: теплота пари та теплота нагрітої води з мережі. Математична складова теплопродуктивності котла має вигляд:

$$Q_k = M_c (i_2 - i_1) + D_n (i_n - i_{жв}) \quad (4)$$

де M_c – витрата води з мережі, що нагрівається;

i_1, i_2 – ентальпія води до нагрівання та після нагрівання відповідно;

D_n – продуктивність котла у системі теплопостачання;

$i_n, i_{жв}$ – ентальпія пари та ентальпія живильної води відповідно.

Здійснимо перетворення (4), щоб визначити витрату води з мережі, що нагрівається, отримаємо:

$$M_c = \frac{Q_k - D_n (i_n - i_{жв})}{i_2 - i_1} \quad (5)$$

Отримане рівняння (5) показує, що показник витрати води з мережі, що нагрівається та теплопродуктивність котла, що входить у систему теплопостачання взаємозалежні. Так при постійній складовій теплопродуктивності котла та при поступовому збільшенні кількості виробленої пари, зменшується витрата води з мережі, а у разі зменшення кількості виробленої пари збільшується витрата води з мережі.

У разі заміни барабану для нагріву води, на поверхні нагріву, у газохід котла вбудовуються відповідні пластини, які слугують елементами нагріву. Умовна схема пароводяної системи теплопостачання з паро водогрійним котлом та вбудованими поверхнями наведена на рис. 9.

Поверхневий теплообмінник для нагріву води встановлюється у корпус котла, поруч з економайзером.

Методологія розрахунку. У якості варіантів розрахунку були обрані умови режимів роботи обладнання ТЕЦ, що відповідають квазістаціонарним режимам. Ці умови визначені для постійних значень відпуску кількісно-якісних параметрів тепла на виробничі та опалювальні потреби у часовому проміжку, що перевищує характерний час теплової інерційності контуру.

Виробничі параметри взяті (за величинами та розмірностями) з виробничої документації. Розрахунок якісних параметрів і показників відпуску теплової енергії з котлів (РОУ) проведений в системі СІ.

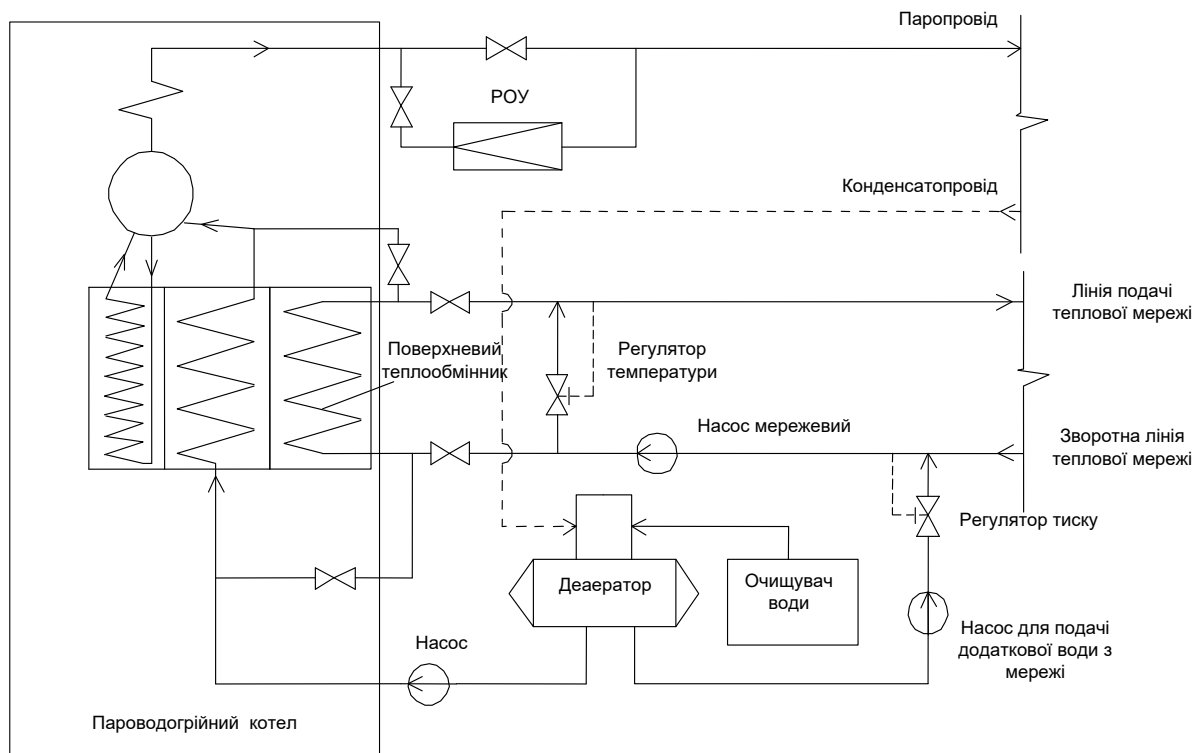


Рис. 9. Умовна схема пароводяної системи теплопостачання з паро водогрійним котлом та вбудованим поверхневим теплообмінником для нагріву води

Розрахункові формули для визначення показників режиму роботи обладнання представляються у вигляді:

а) Теплова потужність промислового відбору, МВт:

$$Q_n = D_n \cdot h_n / 3600 \quad (6)$$

де D_n – витрата виробничої пари, т/год;

h_n – ентальпія виробничої пари, кДж/кг.

б) Теплова потужність теплофікаційного відбору, МВт:

$$Q_r = G_{MB} C_p (t_{nm} - t_{om}) / 3600 \quad (7)$$

де G_{MB} – витрата води з мережі через мережевий підігрівач, т/год;

t_{nm} – температура води, яка надходить у мережу, °С;

t_{om} – температура води, що повертається з мережі, °С;

C_p – теплоємність води, кДж / кг * °С.

в) Теплова потужність тепла, що відпускається у паропровід власних потреб 0,12 МПа, МВт

$$Q_{кол,1,2} = G_{НП} C_p \Delta t_{ОВ} + G_{ВВ} C_p \Delta t_{ВПВ} + G_{СВ} C_p \Delta t_{СВ} \quad (8)$$

де $G_{НП}$ – неперенесення конденсату, т/год;

$G_{ВВ}$ – витрата водопровідної води через ПВВ, т/год;

$G_{СВ}$ – витрата сирової води через ПСВ, т/год;

$\Delta t_{ОВ}$ – нагрів очищеної води у деаeratorі додаткової води 1,2 ата, °С;

$\Delta t_{ВПВ}$ – нагрівання водопровідної води в ПВПВ, °С;

$\Delta t_{СВ}$ – нагрівання сирової води в ПСВ, °С;

г) Теплова потужність по пару перед РОУ, МВт:

$$Q_o^{POY} = D_o^{POY} (h_o^{POY} - h_g^{POY}) / 3600 \quad (9)$$

де D_o^{POY} – витрата пари перед РОУ (після котла), т/год;

h_o^{POY} – ентальпія пари перед РОУ (після котла), кДж/кг;

h_g^{POY} – ентальпія живильної води перед котлом, кДж/кг.

д) Поправочні коефіцієнти на зміну параметрів пари у проточній частини системи від входу до точки відбору К1 (промисловий відбір), К2 (верхній опалювальний відбір), К3 (нижній опалювальний відбір) визначаються за формулою:

$$K_j = \frac{1 - T_K / \gamma \cdot T_{відб}}{1 - T_K / T_0} \quad (10)$$

Результати досліджень ключових показників ефективності редуційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств

Визначення показників витрат. На підставі розрахованих параметрів і показників варіантів режимів генерації тепла (таблиця 1) здійснюємо розрахунок витрати палива відповідно до запропонованої методики визначення енергетичної ефективності.

Результати розрахунку для різних варіантів досліджуваних режимів наведені в таблиці 2.

Дані про фактичні витрати палива за досліджувані періоди часу взяті з показань приладу обліку по витраті споживання газу на ТЕЦ.

Достовірність показань комерційного приладу обліку споживання газу на ТЕЦ підтверджується його високим класом точності – 0,002.

Таблиця 1

Дані по РОУ

№	Найменування показника	Позн.	Одиниці виміру	Варіант виміру									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Витрата пари після РОУ	G_{nPOY}	т/год	0	60	65	75	75	75	75	75	75	75
2	Тиск пари після РОУ	p_{nPOY}	кгс/см ²	22,8	22,8	22,8	22	22	22	22	22	22	22
3	Температура пари після РОУ	t_{nPOY}	°C	265	265	265	280	280	255	270	270	265	270
4	Тиск пари перед РОУ	p_{0POY}	кгс/см ³	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
5	Температура пари перед РОУ	t_{0POY}	°C	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535
6	Температура живильної води на вході у РОУ	$t_{вPOY}$	°C	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
7	Ентальпія пари після РОУ	h_{nPOY}	кДж/кг	2945	2945	2945	2955	2955	2905	2950	2950	2940	2950
8	Ентальпія пари після котла	h_{0POY}	кДж/кг	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435
9	Ентальпія живильної води перед РОУ	$h_{вPOY}$	кДж/кг	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669
10	Температура живильної води перед котлом	$t_{жв}$	°C	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
11	Калорійність газу	$Q_{гр}$	кДж/м ³	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656
12	ККД котла	$\eta_{к2}$		0,94	0,94	0,94	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935
13	ККД трубопроводів	$\eta_{тр}$		0,97	0,97	0,97	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966

Таблиця 2

Результати розрахунку

№	Найменування показника	Позн.	Одиниці виміру	Варіант виміру									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Витрата пари на РОУ	G_{oPOU}	т/год	0	53,81	58,32	67,42	67,42	66,31	67,02	67,02	66,58	67,02
2	Теплова потужність пари перед РОУ	Q_{oPOU}	МВт	0	37,32	40,1	46,3	46,3	45,87	46,82	46,82	46,510	46,82
3	Витрата палива на РОУ	G_{cPOU}	нм ³ /с	0	1,21	1,32	1,53	1,53	1,51	1,53	1,53	1,52	1,53

Аналіз результатів ефективності редуційно-охолоджувальних установок та оцінка точності розрахунку. Із отриманих значень витрати палива та значень ефективності спрацювання РОУ, відхилення показників знаходяться у межах від 0,3 до 1,5%. Відхилення близько 1,5% можна пов'язати зі збільшенням характерного часу теплової інерційності контуру по зовнішнім умовам заповнення витрат циклу з неперервним конденсатом, а також часу стабілізації ККД парового котла.

Розрахунок середньозваженого значення, дисперсії і середньоквадратичного відхилення величини здійснюємо відповідно до формул математичної статистики. Результати розрахунку даних параметрів наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати оцінки похибки отриманих значень

№	x	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum n_i}$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum n_i}}$
1	0,0118	0,004	0,0078	7,27273E-06	0,002697
2	0,0055		0,0015		
3	0,0095		0,0055		
4	0,0041		0,0001		
5	0,0066		0,0026		
6	0,0106		0,0066		
7	-0,0078		-0,0118		
8	-0,0044		-0,0084		
9	-0,006		-0,01		
10	0,0105		0,0065		

На підставі результатів оцінки похибки розрахунку робимо висновок, що похибка розрахунку становить $(0,4 + 0,2697)\%$.

На підставі отриманих результатів обробки експерименту можна констатувати працездатність запропонованої методики визначення ефективності редуційно-охолоджувальної установки і можливість подальшого її використання для вирішення задач оптимального формування системи тепlopостачання промислових підприємств.

Обговорення результатів дослідження ключових показників ефективності редуційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел тепlopостачання промислових підприємств

Основним показником ефективності роботи редуційно-охолоджувальної установки є температура і тиск пари після установки. Ці показники є найбільш впливовими на дієвість всієї системи тепlopостачання, однак, як було зазначено вище, одержуваний конденсат на виході збільшує надійність роботи основного устаткування теплової схеми. Для підвищення теплової економічності системи доцільно ввести попередній підігрів живильної води на вході в редуційно-охолоджувальну установку.

Варто відзначити, що в процесі роботи станції тепlopостачання може виникати необхідність зупинки постійно діючих РОУ, а значить і зупинки всієї системи, що є досить трудомістким процесом і негативно позначається на експлуатаційних характеристиках останньої.

Висновки

Розвиток редуційно-охолоджувальних установок дозволить в майбутньому більш ефективно використовувати теплову енергію пари. Зараз стоїть завдання по модифікації вже існуючого обладнання з метою зниження витрат на його виробництво, підвищення його довговічності і економічної ефективності.

На основі проведеного в статті аналізу і досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Принципи формування системи теплопостачання в залежності від виду теплоносія ґрунтуються на загальних показниках якості. Система повинна бути оснащена теплоносієм необхідних параметрів та здійснювати мінімальні енерговитрати за умови повного задоволення потреб кінцевого споживання.

2. Систем теплопостачання в залежності від обладнання, що використовується поділяють на парові, водні та пароводні. Призначення редукційно-охолоджувальної установки – зниження параметрів пари за рахунок дроселювання і охолодження її водою, введеною в охолоджувач пари у розпорошеному стані. У разі застосування парової системи паровий котел виступає головним об'єктом, який здійснює нагрівання води до виділення пари. Пара з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку направляється, за допомогою паропроводу, до споживача. Водяна система працює за принципом постійного надходження пари з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку у мережеві підігрівачі, де нагрівається і конденсується вода. Змішана – пароводяна система працює з урахуванням обох систем теплопостачання, які працюють в тандемі.

3. Методологія розрахунку показників ефективності роботи редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання, ґрунтується на визначенні теплової потужності тепла та пари, витратах пари та палива.

4. Показник витрат води з мережі, що нагрівається та теплопродуктивність котла, що входить у систему теплопостачання взаємозалежні. Отримані показники роботи редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання показали стабільну динаміку збільшення витрати палива на РОУ. Теплова потужність системи коливалася у межах від 37,32 МВт до 48,82 МВт. Температурний діапазон пари на виході з РОУ склав 265-280 °С. Тиск пари на виході з РОУ тримався в межах 22-22,8 кгс/см².

5. Відхилення показників витрати палива та значень ефективності спрацювання РОУ знаходяться у межах від 0,3 до 1,5%. Похибка розрахунку становить $(0,4 + 0,2697)\%$.

6. У перспективі необхідна розробка більш потужних і дешевих охолоджуючих реагентів, застосування яких буде безпечно для персоналу. Необхідна також модернізація конструкції з метою підвищення її надійності і захищеності співробітників. У цих напрямках працюють сучасні компанії.

Література

1. Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С.Ю. Андреев, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 454 с.
2. Гічов Ю.О. Теплові електростанції та проблеми перетворення енергії. Частина II : навчальний посібник / Гічов Ю.О. – Дніпро : НМетАУ, 2017. – 59 с.
3. Лухтура Ф. И. О некоторых способах повышения тепловой экономичности и надежности промышленных ТЭЦ [Електронний ресурс] / Ф. И. Лухтура, А. В. Пыжиков, О. А. Хлестова // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: технічні науки. – 2018. – Вип. 36. – С. 88–100. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdy_2018_36_13.
4. Терлецький В. О. Моделювання АСП температури пару за редукційно-охолоджувальною установкою енергоблоку АЕС ВВЕР 1000 МВт / В. О. Терлецький, Г. П. Лисюк // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2019. – Том 30 (69). № 3 Частина 1. – С. 170–174.
5. Високих Л.В. Підвищення ефективності систем електропостачання за рахунок використання когенераційні установки з турбінною установкою / Л.В. Високих, В.В.Клименко, В.І. Кравченко // Перспективні галузі інформаційно-комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: Всеукраїнський науково-практичний Інтернет конференція. – Кропивницький, 2019. – URL : <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/2019/11.pdf>.
6. Клименко В.В. Энергозбереження в тепло технологічних процесах та установках : навчальний посібник / Клименко В.В., Кравченко В. І., Телюта Р. В. – Кропивницький : ПП Ексклюзив-Систем, 2020. – 219 с.
7. Maurer, T. Kältetechnik für Ingenieure / T. Maurer. – GmbH: VDE Verlag, 2016. – 575 p.
8. Li S. X. Dynamic Modeling of Steam Condenser and Design of PI Controller Based on Grey Wolf Optimizer / S. X. Li, J. S. Wang // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – № 2015. – P. 1–9. – DOI :10.1155/2015/120975.
9. Chepyrniy M. N. Application of steam compression thermal pumping plants for utilization of the discharged heat of steam turbines condensers / M. N. Chepyrniy, N. V. Rezydent. // Scientific works of Vinnytsia national technical university. – 2013. – № 4. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntue_2013_4_10.
10. Emadi A. Advanced Electric Drive Vehicle / A. Emadi. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2015. – 586 p.
11. Takashi M., Shuichi H., Daisuke O., Masahiko T., Jun S. Improvement of thermal environment and reduction of energy consumption for cooling and heating by retrofitting windows. Front. Archit. Res. 2013; 2:1–10.
12. El Mankibi M., Cantin R., Zoubir A. Contribution to the thermal renovation of old buildings: numerical and experimental approach for characterizing a double window. Energy Procedia 2015; 78:2470–2475.
13. Gloriant F., Titelein P., Joulin A., Lassue S. Study of the performances of a supply-air window for air

renewal pre-heating. *Energy Procedia* 2015; 78:525–530.

14. Energy Efficiency Best Practice Guide Steam Systems, Hot Water Systems and Process Heating Systems. URL: <https://genless.govt.nz/assets/Business-Resources/process-heat-best-practice-guide-jan-2011.pdf>

References

1. Koheneratsiini tekhnolohii v malii enerhetytsi : monohrafiia / V. A. Maliarenko, O. L. Shubenko, S.Iu. Andrieiev, M. Yu. Babak, O. V. Senetskyi / Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova, In-t problem mashynobud. im. A. M. Pidhornoho. – Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2018. – 454 s.
2. Hichov Yu.O. Teplovi elektrostantsii ta problemy peretvorennia enerhii. Chastyna II : navchalnyi posibnyk / Hichov Yu.O. – Dnipro : NMetAU, 2017. – 59 s.
3. Luhtura F. I. O nekotorykh sposobakh povysheniya teplovoj ekonomichnosti i nadezhnosti promyshlennykh TEC [Elektronniy resurs] / F. I. Luhtura, A. V. Pyzhikov, O. A. Hlestova // Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu. Seriya: tehnicni nauki. – 2018. – Vip. 36. – S. 88–100. – Rezhim dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdy_2018_36_13.
4. Terletsyky V. O. Modeliuvannia ASR temperatury paru za reduktsiino-okholodzhuvannoii ustanovkoiu enerhobloku AES VVER 1000 MVT / V. O. Terletsyky, H. P. Lysiuk // Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tehnicni nauky, 2019. – Tom 30 (69). № 3 Chastyna 1. – S. 170–174.
5. Vysokykh L.V. Pidvyshchennia efektyvnosti system elektropostachannia za rakhunok vykorystannia koheneratsiini ustanovky z turbinnoiu ustanovkoiu / L.V. Vysokykh, V.V.Klymenko, V.I. Kravchenko // Perspektyvni haluzi informatsiino-kompiuternykh system ta merezh, kompiuterno-intehrovani tekhnolohii u promyslovosti, telekomunikatsiiakh, enerhetytsi ta transporti: Vseukrainskyi naukovopraktychnyi Internet konferentsiia. – Kropyvnytskyi, 2019. – URL : <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/2019/11.pdf>.
6. Klymenko V.V. Enerhozberezhennia v teplo tekhnolohichnykh protsesakh ta ustanovkakh : navchalnyi posibnyk / Klymenko V.V., Kravchenko V. I., Teliuta R. V. – Kropyvnytskyi : PP Ekskliuzyv-System, 2020. – 219 s.
7. Maurer, T. Kältetechnik für Ingenieure / T. Maurer. – GmbH: VDE Verlag, 2016. – 575 p.
8. Li S. X. Dynamic Modeling of Steam Condenser and Design of PI Controller Based on Grey Wolf Optimizer / S. X. Li, J. S. Wang // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2015. – № 2015. – R. 1–9. – DOI :10.1155/2015/120975.
9. Chepyrnyi M. N. Application of steam compression thermal pumping plants for utilization of the discharged heat of steam turbines condensers / M. N. Chepyrnyi, N. V. Rezydent. // *Scientific works of Vinnytsia national technical university*. – 2013. – № 4. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntue_2013_4_10.
10. Emadi A. Advanced Electric Drive Vehicle / A. Emadi. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2015. – 586 p.
11. Takashi M., Shuichi H., Daisuke O., Masahiko T., Jun S. Improvement of thermal environment and reduction of energy consumption for cooling and heating by retrofitting windows. *Front. Archit. Res.* 2013; 2:1–10.
12. El Mankibi M., Cantin R., Zoubir A. Contribution to the thermal renovation of old buildings: numerical and experimental approach for characterizing a double window. *Energy Procedia* 2015; 78:2470–2475.
13. Gloriant F., Tittlein P., Joulin A., Lassue S. Study of the performances of a supply-air window for air renewal pre-heating. *Energy Procedia* 2015; 78:525–530.
14. Energy Efficiency Best Practice Guide Steam Systems, Hot Water Systems and Process Heating Systems. URL: <https://genless.govt.nz/assets/Business-Resources/process-heat-best-practice-guide-jan-2011.pdf>

О.Я. ВОЛОШАНЮК
О.В. НЕЧИПОРЕНКО

Orcid-id: 0000/0002/0484/9111

Надійшла/Paper received : 20.04.2021 р. Надрукована/Printed : 07.06.2021 р.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-187-192

УДК 681.5.03

М.В. ВАСИЛЬСЬВ, А.И. БРУНЕТКІН

«Одеський національний політехнічний університет»

**НАЛАШТУВАННЯ НЕЧІТКОГО АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА
КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗРІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

Вивчені основні властивості об'єкта а також методи, якими можна знаходити нові параметри для регулятора компресорної установки для зрідження природного газу. Досліджені основні властивості самого адаптивного регулятора а також розроблений метод, за яким і було виконано роботу. Також було зроблене порівняння з іншими видами автоматичних систем керування які можуть застосовуватись в даному об'єкті. Вивчена послідовність будування адаптивного регулятора та його взаємодія з об'єктом. Досліджені вихідні результати адаптивного регулятора та порівняння їх з іншими автоматичними системами керування. Вивчено загальні властивості та правила будування адаптивного регулятора, основні тонкості при роботі з ним. Розглянуто в повній мірі нові можливості для регулювання компресорної установки для зрідження природного газу та виведені основні правила щодо застосування даного адаптивного регулятора. Також було проведено дослідження ефективності застосування адаптивного регулятора для даного об'єкту та зроблені висновки по роботі регулятора та ефективності його результатів. В ході проведення дослідження була встановлена послідовність дій для побудови адаптивного регулятора, його налаштування та використання для знаходження необхідних параметрів регулятора. Було встановлено що для налаштування адаптивного регулятора потрібно мати певні знання в налаштуванні регуляторів для інших об'єктів та мати можливість використовувати дані знання для виведення необхідних параметрів адаптивного регулятора, які є в налаштуваннях. Зроблений аналіз ефективності застосування адаптивного регулятора для компресорної установки для зрідження природного газу. Виявлено певні моменти, які потребують доопрацювання та корегування в плані налаштування пошуку параметрів регулятора, адаптивним регулятором. Зроблені висновки стосовно використання даної методики на даний момент.

Ключові слова: компресор, зрідження, природний газ, адаптивний регулятор, ефективність адаптивного регулятора.

MYKHAILO VASYLIEV, BRUNETKIN OLEKSANDR

Odessa National Polytechnic University

**ADJUSTMENT OF FUZZY ADAPTIVE REGULATOR OF COMPRESSOR UNIT FOR LIQUEFACTION OF
NATURAL GAS**

The main properties of the object are studied, as well as the methods by which new parameters can be found for the regulator of the compressor unit for liquefaction of natural gas. The main properties of the adaptive regulator itself are studied, as well as the method by which the work was performed is developed. A comparison was also made with other types of automatic control systems that can be used in this facility. The sequence of construction of the adaptive controller and its interaction with the object is studied. The initial results of the adaptive controller and their comparison with other automatic control systems are investigated. The general properties and rules of construction of the adaptive regulator, the basic subtleties at work with it are studied. New possibilities for regulation of the compressor installation for liquefaction of natural gas are fully considered and the basic rules concerning application of this adaptive regulator are deduced. A study of the effectiveness of the adaptive regulator for this object was conducted and conclusions were made on the work of the regulator and the effectiveness of its results. A special sequence of work was also developed for the construction of an adaptive controller and its application on site. In general, the basic rules for working with such a regulator and its application in a natural gas liquefaction plant are derived. The behavior of the plant is investigated and new settings for the regulation of the natural gas liquefaction plant are derived. The main types of regulation of this object are applied and new rules for finding settings for the main regulator of the compressor unit are derived. The work on comparison of already traditional types of regulation with the adaptive regulator is made and conclusions on application of this or that type of regulation of compressor installation comparing results of regulation are made. The possibility of real use of this regulator on a constant basis in production is investigated, conclusions on the main work of the regulator and also shortcomings which can arise at a choice of regulation with the adaptive regulator are made.

Keywords: compressor, liquefaction, natural gas, adaptive regulator, efficiency of adaptive regulator.

Постановка проблеми. На разі проблематика постає наступна: сам об'єкт мало вивчається у науковому колі, а також майже немає джерел у відкритому доступі, які би допомогли більш детального розкрити основні моменти в регулюванні установки для зрідження природного газу. Також мало вивчена тема застосування різних автоматичних систем керування установки для зрідження природного газу. Тема використання адаптивного регулятора для даного об'єкту взагалі являється темою, яку не особливо вивчають і тому в даній статті буде розглянуто саме використання адаптивного регулятора для установки для зрідження природного газу. Адже тема хоч і малодосліджена, але все таки вона має право на життя та глибокий аналіз даного регулятора, його вплив на остаточне регулювання об'єкту та ефективність регулювання при застосуванні даного регулятора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчаючи останні публікації у відкритих джерелах інформації, виявилось що у відкритому доступі наразі дуже мало інформації щодо застосування адаптивного регулятора для установки для зрідження природного газу. Точніше такої інформації майже немає у

відкритих джерелах, і тому доводиться більш поглиблено вивчати дану тематику, маючи в наявності лише невелику кількість літератури, яка б змогла в повній мірі продемонструвати чітку послідовність дій для побудови та застосування адаптивного регулятора. Були вивчені публікації наступних авторів: Шаміна В.А., Галеркін Ю.Б., Леоненков О.Ю.

Постановка завдання. Дослідити ефективність використання адаптивного регулятора для установки для зрідження природного газу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Спочатку треба згадати, що саме собою являє компресорна установка для зрідження природного газу. На даний момент, природний газ є найчистішим і одним з найдешевших органічних видів палива. Основною проблемою природного газу є транспортування на велику відстань. Рішенням цієї проблеми є скраплення газу за допомогою криогенних установок. Тепер у нас з'являється чітке розуміння того, навіщо взагалі потрібен даний об'єкт і чому важливо максимального його дослідити, адже без цього буде неможливо створити ефективну систему автоматизації для цього об'єкту.

Ще треба коротко описати компресорну установку для зрідження природного газу. Відцентрові компресори представляють собою обладнання, що входить до групи компресорів динамічного типу з радіальною конструкцією. Головною перевагою установок даного типу є їх висока продуктивність, яка в рази перевищує показники компресорів інших видів. Завдяки цьому, відцентрові компресори, структура яких дозволяє використовувати їх при інтенсивній експлуатації, широко використовуються в промислових масштабах.

Детально вивчивши, що являє собою компресор для зрідження природного газу та повністю розглянувши принцип дії, розглянемо що взагалі являє собою адаптивний регулятор.

При управлінні складними об'єктами, що функціонують в умовах нестационарності, широке застосування знайшли адаптивні регулятори, що реалізують типові ПІ або ПІД-закони регулювання. Слід зазначити, що даний метод передбачає виведення об'єкта в область автоколивань, за рахунок переходу на ПІ-закон і грубого варіювання коефіцієнта посилення K_p . Однак, значний ряд технологічних процесів за умовами експлуатації не допускають автоколивального режиму. Таким чином, завдання знаходження оптимального методу адаптації залишається відкритою. Разом з тим, останнім часом широку популярність знаходять нечіткі моделі і алгоритми управління. Відомо, що нечітке управління засноване на використанні не стільки аналітичних або теоретичних моделей, скільки на практичному застосуванні знань кваліфікованих фахівців, представлених у формі лінгвістичних баз правил. Нечітке управління ефективно у випадках недетермінованості параметрів об'єктів, коли існує певний досвід експертів з управління і налаштування автоматизованої системи регулювання (АСР). Теорія нечіткої логіки дозволяє використовувати знання фахівців-наладчиків з метою поліпшення процесів управління і надання допомоги з налаштування типових регуляторів. Виходячи з вищесказаного, завдання створення методу адаптації ПІД-регулятора, що реалізує досвід наладчиків, стає актуальною[4].

Метою статті є розробка нечіткої експертної системи, що визначає оптимальні настройки ПІД-регулятора, для його адаптації до об'єкта управління, і її апробація в пакеті Matlab (Simulink).

Дізнавшись, що являє собою адаптивний регулятор і для чого він взагалі потрібен, перейдемо до етапів, які допоможуть створити саме автоматичну систему керування до складу якої буде включено як установку для зрідження природного газу, так і сам адаптивний регулятор. На першому етапі ми визначимо структуру адаптивної системи регулювання. Дана структура зображена на рисунку 1.

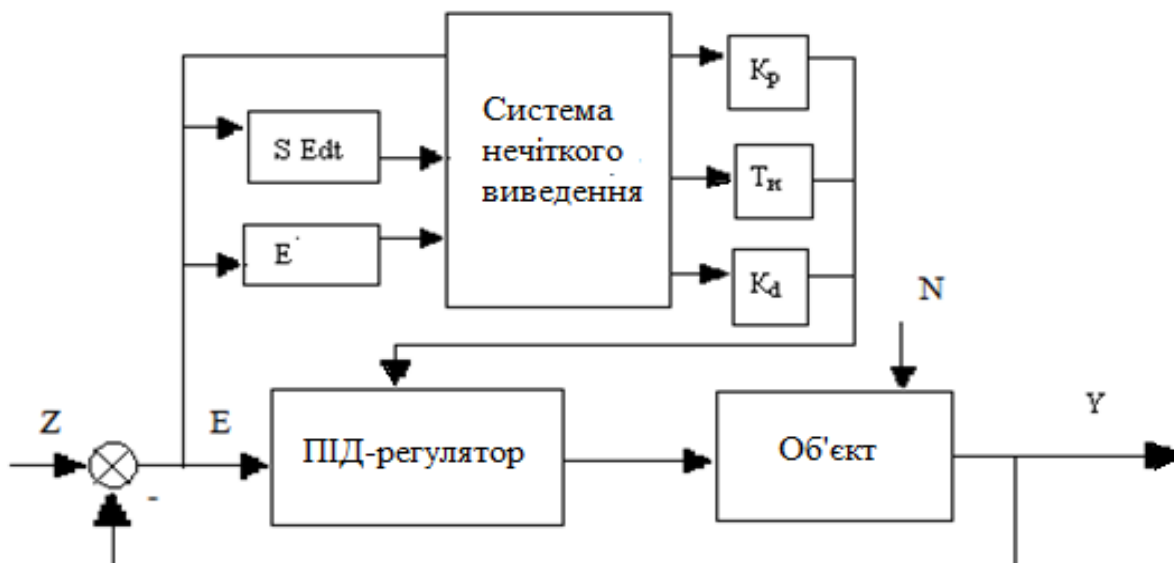


Рис. 1. Структура адаптивного нечіткого керування

Де на рисунку: E – помилка; Z – завдання; Y – значення на виході; N – збурення; K_p , T_i , K_d –

налаштування ПІД-регулятора;

На другому етапі в програмі Matlab (FLT) проводиться створення системи нечіткого виведення або адаптера. Це зображено на рисунку 2.

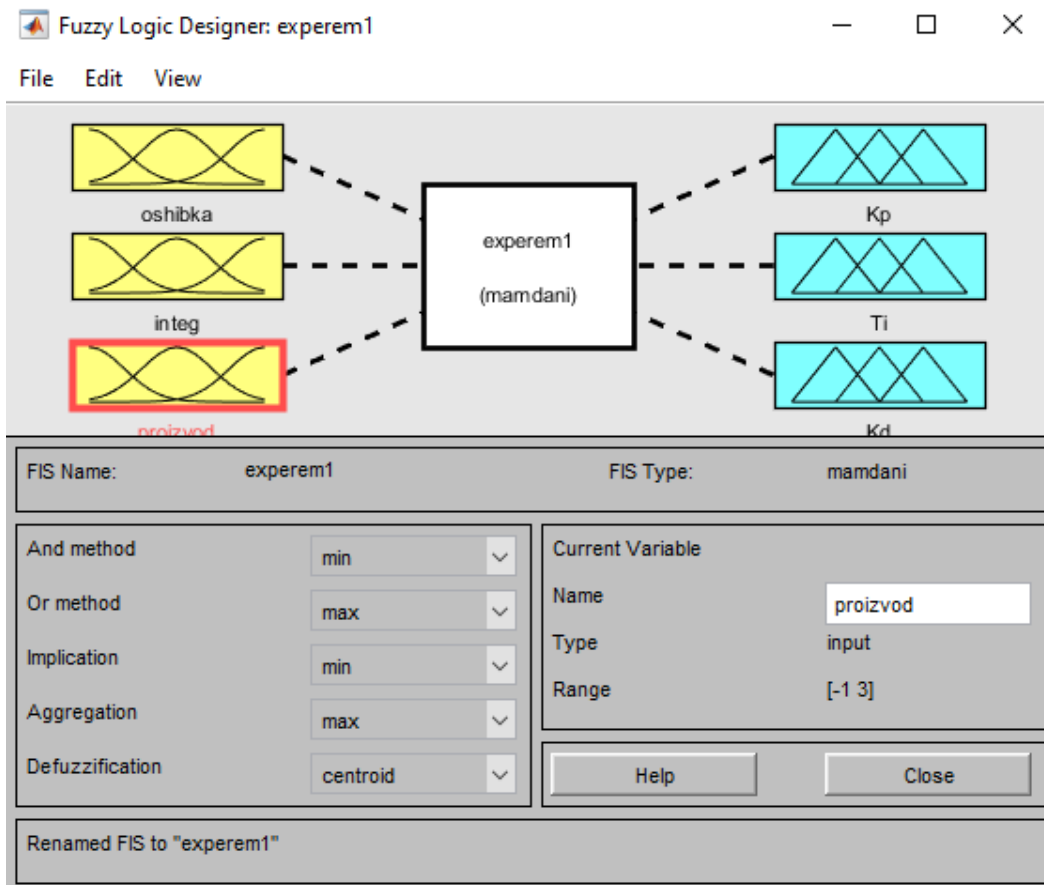


Рис. 2. Графічний інтерфейс редактора FIS

На третьому етапі проводиться фазифікації вхідних і вихідних лінгвістичних змінних (ЛП). Фазифікації вхідних значень (помилки регулювання (E), її інтеграла і похідною). Графіки функцій належності вхідних ЛП представлени на рисунках 3, 4, 5.

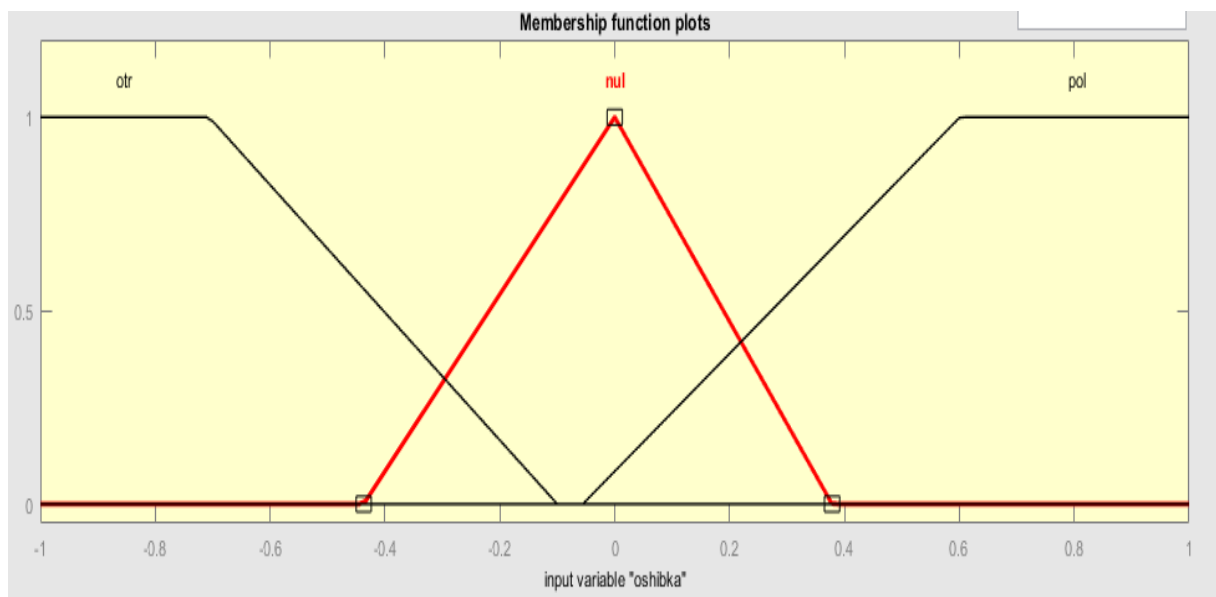


Рис. 3. Функція приналежності ЛП «помилка»

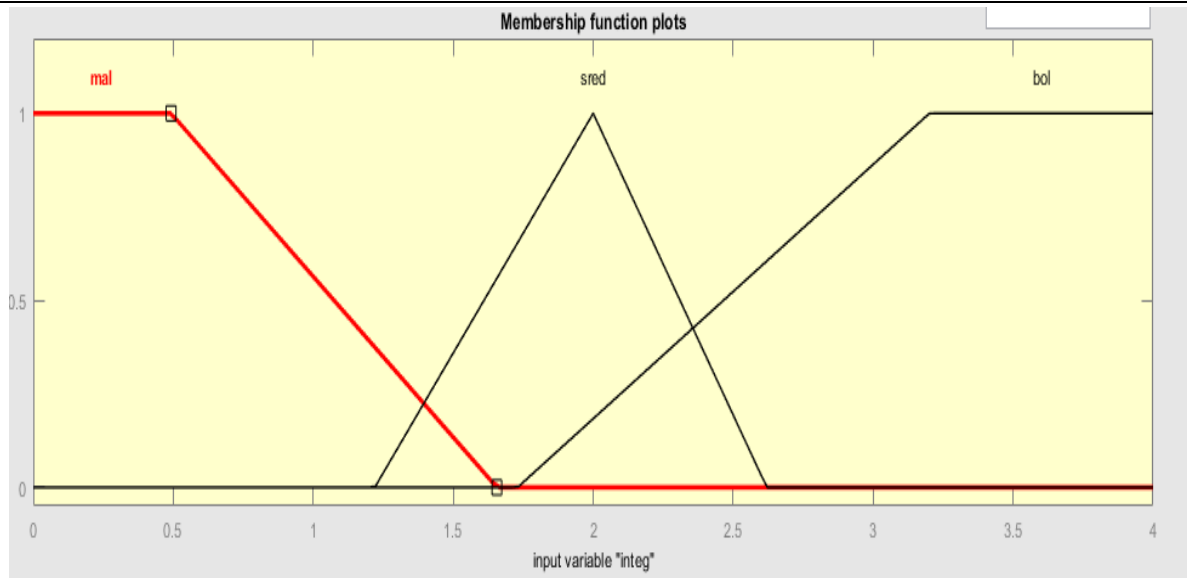


Рис. 4. Функція приналежності ЛП «інтеграл помилки»

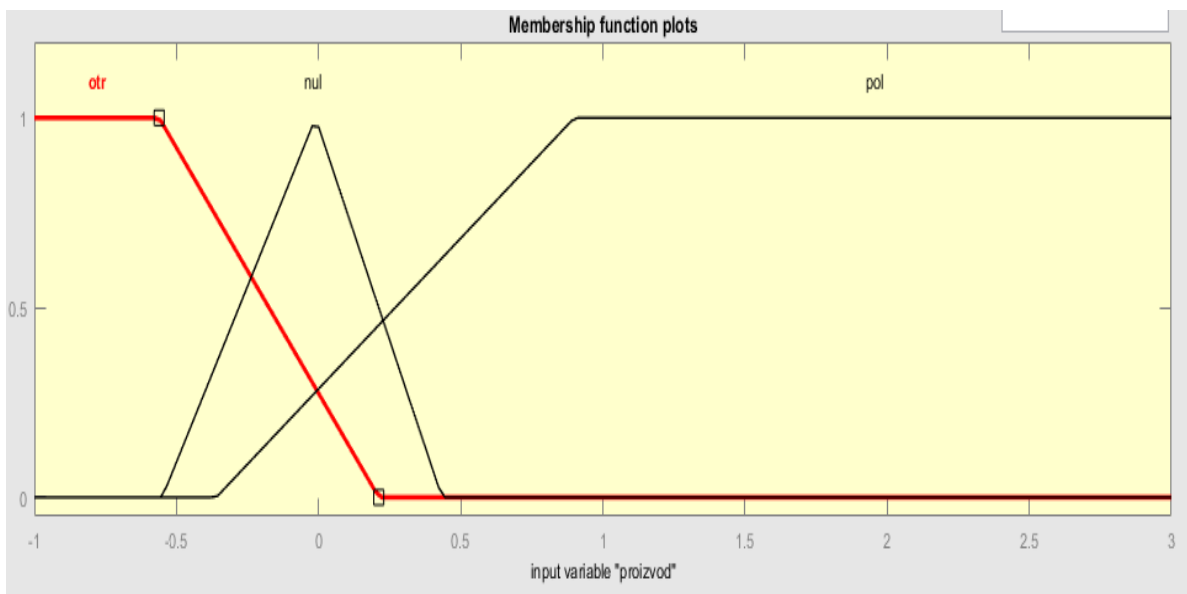


Рис. 5. Функція приналежності ЛП «похідна помилки»

Четвертий етап полягає у створенні бази правил виду «ЯКЩО ... ТО». Виходячи з рекомендацій зі спеціалізованої літератури, проведених експериментів в редакторі FLT, а також досвіду експертів-налагодчиків систем автоматизації, пропонуються наступні правила: ЯКЩО «помилка є негативна» І «інтеграл помилки є маленький» І «похідна помилки є негативна» ТО «Кр є великий», «Ти є великий», «Кd є великий», дана база правил приведена на рисунку 6.

1. If (oshibka is otr) and (integ is mal) and (proizvod is otr) then (Kp is bol)(Ti is bol)(Kd is bol) (1)
2. If (oshibka is otr) and (integ is sred) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is sred)(Kd is sred) (1)
3. If (oshibka is otr) and (integ is bol) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is mal)(Kd is sred) (1)
4. If (oshibka is nul) and (integ is sred) and (proizvod is nul) then (Kp is sred)(Ti is sred)(Kd is sred) (1)
5. If (oshibka is pol) and (integ is bol) and (proizvod is pol) then (Kp is mal)(Ti is mal)(Kd is mal) (1)
6. If (oshibka is pol) and (integ is mal) and (proizvod is pol) then (Kp is mal)(Ti is bol)(Kd is mal) (1)
7. If (oshibka is otr) and (integ is bol) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is mal)(Kd is sred) (1)

Рис. 6. Фрагмент бази правил

Тепер переходимо до перевірки автоматичної системи керування. Сама система наведена на рисунку 7.

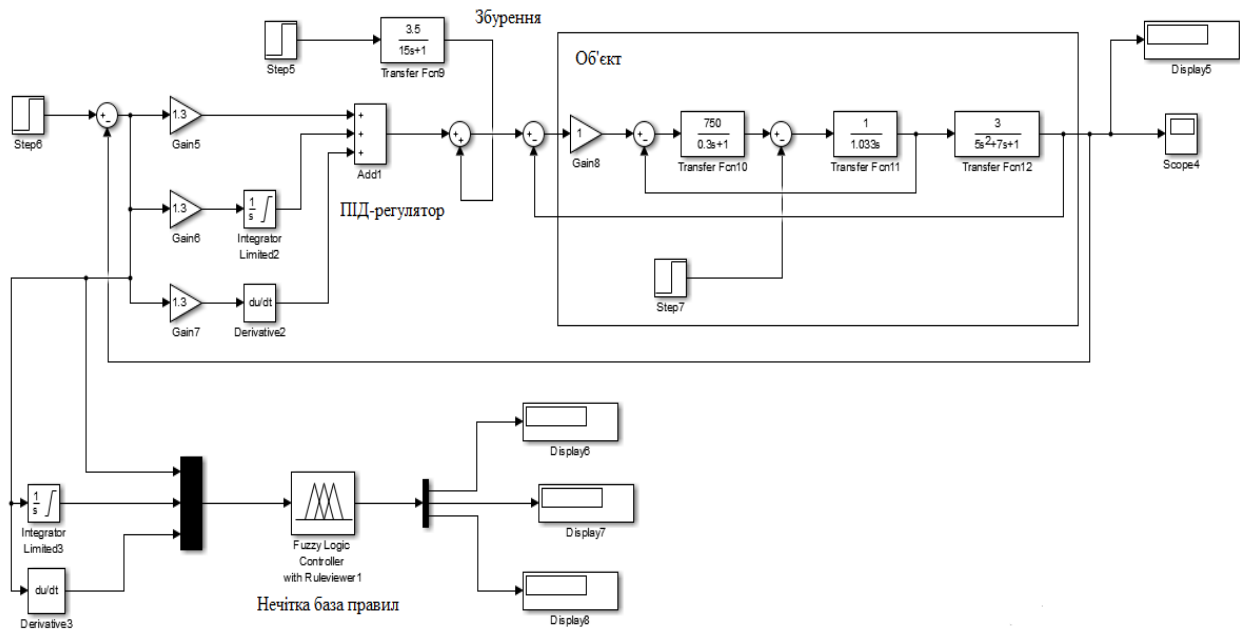


Рис. 7. Експериментальна схема виконана в програмі Simulink

На виході система дала нам наступні значення налаштувань, які зображені на рисунку 8.

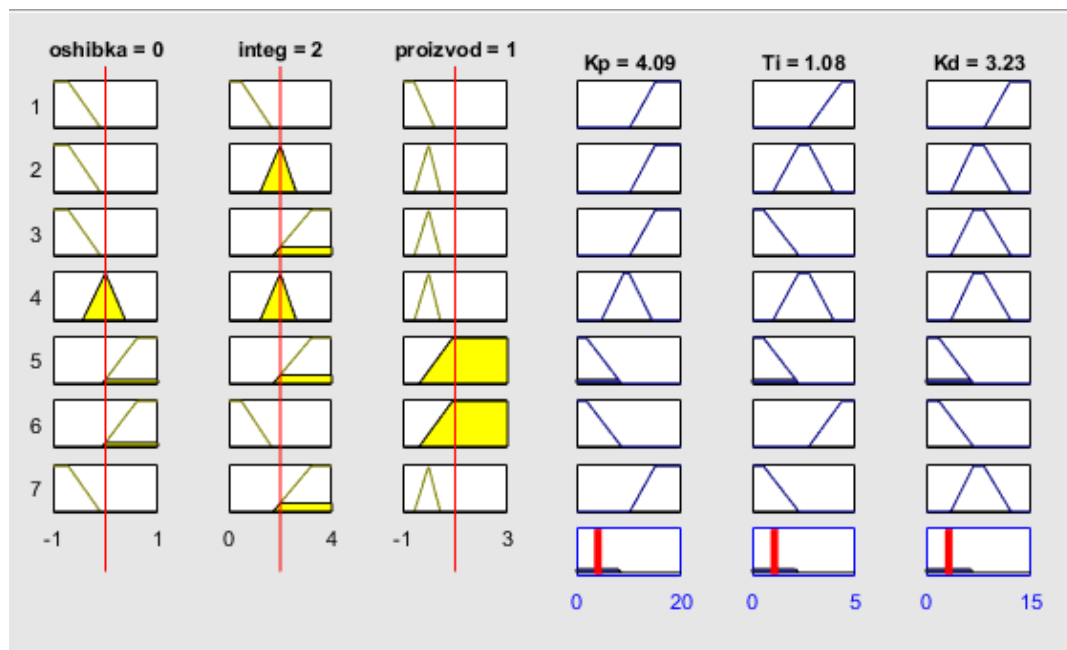


Рис. 8. Результат роботи адаптивного регулятора

Вже отримавши нові налаштування, ми можемо підставити їх в ПІД-регулятор та отримати нові результати регулювання.

Висновки. В даному матеріалі було описано нову автоматичну систему регулювання, в якій основну роль грає адаптивний нечіткий регулятор. В порівнянні з іншими АСР, а саме з АСР по збуренню, АСР по відхиленню, комбінованої АСР, дана задумка являється новою для такого об'єкту як компресорна установка для зрідження природного газу. Адже в даному випадку сама автоматична система регулювання розраховує, які параметри для ПІД-регулятора можна застосувати, щоби покращити процес регулювання. Таким чином, використання нечітких адаптивних ПІД-регуляторів дозволить ефективно управляти технологічними процесами без їх зупинок, а подальше введення нейрокомп'ютера може привести до самонавченої адаптації з визначення оптимальних параметрів без коригування бази правил.

Література

1. Шаміна В.А. Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих / В.А. Шаміна // Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 17–20 квітня 2012 р. – Донецьк : ДонНТУ, 2012. – 305 с.
2. Галеркин Ю.Б. Турбокомпрессоры : учебное пособие / Галеркин Ю.Б., Козаченко Л.И. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета, 2008. – 374 с.
3. Михайленко В.С. Методы настройки нечеткого ПИД-регулятора / В.С. Михайленко, В.Ф. Ложечников // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2013. – № 1. – С. 12–17.
4. Лошак К.Р. Налаштування нечіткого регулятора для автоматичного контролю параметрів у змішувальному баку хімічних речовин / К.Р. Лошак, К.В. Беглов // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. – 2019. – № 6. – С. 105–111.
5. Беглов Я.И., Беглов К.В. Применение нечеткого регулятора для регулирования концентрации жидкого поглотителя в первом контуре АЭС / Я.И. Беглов, К.В. Беглов // Вісник ХНТУ. – 2017. – № 3. – С. 27–33.

References

1. Shamina V.A. Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh ob'ektiv ta protsesiv. Poshuk molodykh / V.A. Shamina // Zbirnyk naukovykh prats KhII nauково-tekhnichnoi konferentsii aspirantiv ta studentiv v m. Donetsk 17–20 kvitnia 2012 r. – Donetsk : DonNTU, 2012. – 305 s.
2. Galerkin Yu.B. Turbokompresory : uchebnoe posobie / Galerkin Yu.B., Kozachenko L.I. – Sankt-Peterburg : Izd-vo Politehnicheskogo universiteta, 2008. – 374 s.
3. Mihajlenko V.S. Metody nastrojki nechetkogo PID-regulyatora / V.S. Mihajlenko, V.F. Lozhechnikov // Avtomatika. Avtomatizaciya. Elektrotehnicheskie komplekсы i sistemy. – 2013. – № 1. – S. 12–17.
4. Loshak K.R. Nalashtuvannia nechitkoho rehuliatora dlia avtomatichnoho kontroliu parametriv u zmishuvalnomu baku khimichnykh rechovyn / K.R. Loshak, K.V. Behlov // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnogo universytetu imeni V.I. Vernadskoho. – 2019. – № 6. – S. 105–111.
5. Beglov Ya.I., Beglov K.V. Primenenie nechetkogo regulyatora dlya regulirovaniya koncentracii zhidkogo poglotitelya v pervom konture AES / Ya.I. Beglov, K.V. Beglov // Visnik HNTU. – 2017. – № 3. – S. 27–33.

Васильєв Михайло Вікторович**Брунеткин Александр Иванович**

orcid-id: 0000-0002-6701-8737

brunetkin@opu.ua

Надійшла/Paper received : 27.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

НЕЛІНІЙНА КОНТАКТНА ДИНАМІКА ТА АНТИСИМЕТРІЯ КОРПУСКУЛЯРНО-ВИХОР-ХВИЛЬОВИХ ФОРМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ТА ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛІВ У ФОНОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ КОМПЛЕКСНОГО ЕВКЛІДОВОГО ПРОСТОРУ. СПЕКТРИ ХІТОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

На основі гідродинамічно-хвильового калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла та в їх аналогах для гравітаційного поля отримані нелінійні рівняння щодо вектор-потенціалів цих полів у фоновому середовищі комплексного Евклідового простору. Розглядається нелінійна контактна динаміка корпускулярно-вихор-хвильових форм полів та порушення антисиметрії, яке веде до утворення речовини та генерації електромагнітних, гравітаційних, гідродинамічних, акустичних хвиль окремо в дійсному та уявному півпросторах комплексного Евклідового простору. Отримані аналітичні вирази для спектрів хітонного випромінювання у комплексному Евклідовому просторі. Показано, що ці вирази описують, зокрема, спектр випромінювання Сонця, спектри колайдерних резонансів, спектр мікрохвильового фонових випромінювання, згенерованого Хмарою Оорта, та інші спектри в технічних, космічних та геодинамічних системах. Аналізуються принципові технічні невдачі в галузі керованого термоядерного синтезу та відомі катастрофи в ядерній енергетиці та гідроенергетиці, пов'язані з неврахуванням корпускулярно-хвильового дуалізму в макросистемах та обмеженнями суто дійсної частини комплексного Евклідового простору.

Ключові слова: комплексний Евклідів простір, рівняння Максвелла, електромагнітне поле, гравітаційне поле, вектор-потенціал, антисиметрія, колапс, корпускулярно-хвильовий дуалізм, принцип невизначеності, спектр, хітонне випромінювання.

YU. ZASPA

Khmelnytskyi National University

NONLINEAR CONTACT DYNAMICS AND ANTI-SYMMETRY OF CORPUSCULAR-VORTEX-WAVE FORMS OF ELECTROMAGNETIC AND GRAVITATIONAL FIELDS IN THE BACKGROUND MEDIUM OF A COMPLEX EUCLIDEAN SPACE. SPECTRA OF HEATON RADIATION

Based on the hydrodynamic-wave calibration of potentials in Maxwell's equations and their analogues for the gravitational field, nonlinear equations with respect to the vector potentials of these fields in the background medium of a complex Euclidean space are obtained. The nonlinear contact dynamics of corpuscular-vortex-wave forms of fields and violation of antisymmetry, which leads to the formation of matter and generation of electromagnetic, gravitational, hydrodynamic, acoustic waves separately in real and imaginary half-spaces of complex Euclidean space, are considered. Analytical expressions for the spectra of heaton radiation in a complex Euclidean space are obtained. It is shown that these expressions describe, in particular, the spectrum of solar radiation, collider resonance spectra, the spectrum of microwave background radiation generated by the Oort Cloud, and other spectra in technical, space and geodynamic systems. The fundamental technical failures in the field of controlled thermonuclear fusion and the known catastrophes in nuclear energy and hydropower related to the disregard of corpuscular-wave dualism in macrosystems and the limitations of a purely real part of the complex Euclidean space are analyzed.

Keywords: complex Euclidean space, Maxwell's equation, electromagnetic field, gravitational field, vector-potential, antisymmetry, collapse, corpuscular-wave dualism, uncertainty principle, spectrum, heaton radiation.

Гідродинамічно-хвильове калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла та в їх аналогах для гравітаційного поля у фоновому середовищі комплексного Евклідового простору.

Розглянемо однорідне, ізотропне, провідне фонове середовище комплексного Евклідового простору з параметрами ε , μ , σ – відповідно діелектричної та магнітної проникностей, а також питомої провідності. Корпускулярно-вихор-хвильові форми електромагнітного та гравітаційного полів рухаються відносно цього середовища з груповою швидкістю \vec{V} . Запишемо систему рівнянь Максвелла для електромагнітного поля:

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad \nabla \vec{E} = \frac{4\pi\rho_e}{\varepsilon} \quad (1, 2)$$

$$\text{rot } \vec{B} = \frac{4\pi\mu}{c} \vec{j} + \frac{\varepsilon\mu}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad \nabla \vec{B} = 0 \quad (3, 4)$$

Тут c – швидкість світла у вакуумі, \vec{E} , \vec{B} – напруженість електричного та індукція магнітного поля, \vec{j} – густина струму, ρ_e – густина електричного заряду, причому :

$$\vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \nabla \varphi, \quad \vec{B} = \text{rot } \vec{A} \quad (5, 6)$$

де \vec{A} , φ – векторний та скалярний потенціали поля. Густина струму \vec{j} є сумою густини струму

провідності та конвективного струму:

$$\vec{j} = \sigma \cdot (\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{V} \times \vec{B}]) + \rho_e \cdot \vec{V}, \quad (7)$$

Підставляючи (5, 6) у (3), отримаємо відоме рівняння для потенціалів:

$$\Delta \vec{A} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\frac{4\pi \mu}{c} \vec{j} + \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \vec{A} + \frac{\varepsilon \mu}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t}) \quad (8)$$

На відміну від Лоренцевого, введемо гідродинамічно-хвильове калібрування потенціалів:

$$\vec{A} = \frac{c}{\sqrt{g}} \cdot \vec{V}, \quad \varphi = \frac{1}{\sqrt{g}} (\vec{V})^2 / 2 \quad (9, 10)$$

Тут g – калібрувальна константа з розмірністю сталої всесвітнього тяжіння. Введемо також еквівалентну щодо ρ_e густину маси ρ :

$$\rho = \rho_e / \sqrt{g} \quad (11)$$

В такому випадку:

$$\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{V} \times \vec{B}] = -\frac{1}{\sqrt{g}} \cdot \vec{a}, \quad \vec{j} = -\frac{\sigma}{\sqrt{g}} \vec{a} + \rho \cdot \sqrt{g} \vec{V} \quad (12, 13)$$

де

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{\nabla} (\vec{V})^2 / 2 - [\vec{V} \times \text{rot} \vec{V}] = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} \quad (14)$$

– повна похідна групової швидкості форми поля за часом – прискорення форми. Враховуючи (9–14), рівняння (8) запишемо у вигляді:

$$\Delta \vec{V} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} = v_m^{-1} \cdot \vec{a} + \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \cdot \vec{V} \cdot (\Delta (\vec{V})^2 / 2 + \frac{\partial}{\partial t} \vec{\nabla} \vec{V}) + \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \vec{V} + \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{V})^2 / 2) \quad (15)$$

де

$$v_m = \frac{c^2}{4\pi \mu \sigma} \quad (16)$$

– магнітна в'язкість фоновому середовищу. Виходячи з (2, 5, 9–11), густина еквівалентної маси має вид:

$$\rho = -\frac{\varepsilon}{4\pi g} (\Delta (\vec{V})^2 / 2 + \frac{\partial}{\partial t} \vec{\nabla} \vec{V}), \quad (17)$$

а відповідна об'ємна густина енергії поля задається виразом:

$$w = \rho \cdot (\vec{V})^2 \quad (18)$$

Об'ємна густина потужності дисипації енергії поля має вид:

$$p_d = (\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{V} \times \vec{B}]) \cdot \vec{j} = \frac{\sigma}{g} (\vec{a})^2 - \rho \cdot (\vec{a} \cdot \vec{V}) \quad (19)$$

Запишемо відповідну систему аналогів рівнянь Максвелла для гравітаційного поля у фоновому середовищі комплексного Евклідового простору:

$$\text{rot} \vec{E}_g = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}_g}{\partial t}, \quad \vec{\nabla} \vec{E}_g = -\frac{4\pi g \rho}{\varepsilon} \quad (20, 21)$$

$$\text{rot} \vec{E}_g = -\frac{4\pi \mu g}{c} \cdot \vec{j}_g + \frac{\varepsilon \mu}{c} \frac{\partial \vec{E}_g}{\partial t}, \quad \vec{\nabla} \vec{B}_g = 0 \quad (22, 23)$$

Тут

$$\vec{E}_g = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}_g}{\partial t} - \vec{\nabla} \varphi_g, \quad \vec{B}_g = \text{rot} \vec{A}_g \quad (24, 25)$$

причому:

$$\vec{A}_g = -c \cdot \vec{V}, \quad \varphi_g = -(\vec{V})^2 / 2 \quad (26, 27)$$

$$\vec{E}_g + \frac{1}{c} [\vec{V} \times \vec{B}_g] = \vec{a}, \quad \vec{j}_g = \frac{\sigma}{g} (\vec{E}_g + \frac{1}{c} [\vec{V} \times \vec{B}_g]) + \rho \cdot \vec{V} \quad (28, 29)$$

або ж

$$\vec{j}_g = \frac{\sigma}{g} \vec{a} + \rho \cdot \vec{V} \quad (30)$$

Підставляючи (24–30) в (22), отримаємо відповідний аналог рівняння (15):

$$\Delta \vec{V} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} = -v_m^{-1} \cdot \vec{a} + \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \cdot \vec{V} \cdot (\Delta(\vec{V})^2 / 2 + \frac{\partial}{\partial t} \nabla \vec{V}) + \nabla(\nabla \vec{V} + \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{V})^2 / 2) \quad (31)$$

Для густини ρ тут справедливий вираз (17). Об'ємна густина енергії гравітаційного поля, як і електромагнітного, задається виразом (18). Однак, об'ємна густина потужності дисипації енергії гравітаційного поля відрізняється від (19) знаком другої складової:

$$p_d = \frac{\sigma}{g} (\vec{a})^2 + \rho \cdot (\vec{a} \cdot \vec{V}) \quad (32)$$

Переходячи до квантових аналогій, запишемо магнітну в'язкість фоновому середовищу у вигляді:

$$v_m = \frac{Y}{m} \quad (33)$$

де Y – аналог постійної Планка, m – ефективна маса польової форми. В такому випадку, об'єднуючи рівняння (15) та (31), запишемо їх у формі, подібній до другого закону динаміки Ньютона:

$$m \vec{a} = \pm Y \cdot (\Delta \vec{V} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \vec{V} \cdot (\Delta(\vec{V})^2 / 2 + \frac{\partial}{\partial t} \nabla \vec{V}) - \nabla(\nabla \vec{V} + \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{V})^2 / 2)) \quad (34)$$

де верхній знак правої частини стосується електромагнітного поля, нижній – гравітаційного. Аналогічно, об'єднуючи (19) та (32), маємо:

$$p_d = \frac{\sigma}{g} (\vec{a})^2 \mp \rho \cdot (\vec{a} \cdot \vec{V}) \quad (35)$$

Подвійність знаків у (34, 35) відображає антисиметрію електромагнітного та гравітаційного полів. Як слідує з (35), потужність дисипації енергії електромагнітного поля зростає при гальмуванні польової форми ($\vec{a} \cdot \vec{V} < 0$), а гравітаційного, навпаки, під час прискорення форми ($\vec{a} \cdot \vec{V} > 0$).

Зауважимо, що незважаючи на формальну аналогію (34) з другим законом Ньютона, прискорення \vec{a} тут відноситься не до матеріальної точки, а до елементу польового середовища у Ейлеровій формі (14).

Аналіз рівнянь поля

Рівняння (15, 31, 34) для вектор-потенціалів поля у використаному тут гідродинамічно-хвильовому калібруванні, на відміну від Лоренцевого калібрування, є суттєво нелінійними. Це обумовлює взаємозв'язок польових форм. Рішення цих рівнянь попередньо шукатимемо у вигляді плоских монохроматичних хвиль:

$$\vec{V}(t, \vec{r}) = \vec{V}_a \cdot e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})} \quad (36)$$

Тут t – час, \vec{r} – радіус-вектор, \vec{V}_a – комплексна амплітуда, i – уявна одиниця, ω, \vec{k} – циклічна частота та хвильовий вектор. В такому випадку:

$$\nabla \vec{V} = -i \vec{k} \cdot \vec{V}, \quad \text{rot} \vec{V} = -i [\vec{k} \times \vec{V}] \quad (37, 38)$$

З (38) безпосередньо слідує занулення гідродинамічної спіральності поля з густиною h :

$$h = \vec{V} \cdot \text{rot} \vec{V} = -i \vec{V} \cdot [\vec{k} \times \vec{V}] = 0 \quad (39)$$

У квантових аналогіях це відповідає бозе-рідині з нульовою спіральністю (розглядається нижче). Зауважимо, що тут та нижче використовується перший (а не другий) скалярний добуток комплексних векторів – без комплексного спряження.

Передусім розглянемо рівноважні рішення (15, 31, 34), що відповідають умові

$$\vec{a} = 0 \quad (40)$$

В такому випадку з (14, 36) маємо:

$$\omega = \vec{k} \cdot \vec{V} = \vec{k} \cdot \vec{V}_a \cdot e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})} \quad (41)$$

Як видно, це дисперсійне співвідношення має фізичний зміст за умов:

$$\omega \cdot \Delta t \ll \pi, \quad \vec{k} \cdot \Delta \vec{r} \ll \pi, \quad (42, 43)$$

де $\Delta t, \Delta \vec{r}$ – характерні часові та просторові параметри поля. Умови (42, 43) відповідають хвильовому колапсу, знаки нерівностей при якому у (42, 43) прямо протилежні знакам для добре відомих хвильових пакетів та, відповідно, для співвідношення невизначеностей Гейзенберга [1, 2].

З (41) безпосередньо слідує, що групова швидкість поля в даному випадку співпадає з \vec{V} :

$$\vec{v}_{gr} = \frac{\partial \omega}{\partial \vec{k}} = \vec{V} \quad (44)$$

Використовуючи умову (40) та прирівнюючи до нуля члени з частинними похідними за часом у (15, 31, 34), отримаємо наступні вирази для стаціонарної рівноважної густини маси та енергії поля:

$$\rho_0 = \frac{(\vec{k}_0)^2 \cdot c^2}{4\pi\mu g}, \quad w_0 = \frac{(\vec{k}_0)^2 \cdot (\vec{V}_0)^2 \cdot c^2}{4\pi\mu g} \quad (45, 46)$$

Для еквівалентного перетворення (46) використаємо відому векторну тотожність:

$$(\vec{k}_0)^2 \cdot (\vec{V}_0)^2 = (\vec{k}_0 \cdot \vec{V}_0)^2 + [\vec{k}_0 \times \vec{V}_0]^2 \quad (47)$$

Для стаціонарного випадку:

$$\omega_0 = \vec{k}_0 \cdot \vec{V}_0 = 0 \quad (48)$$

Тоді з (46–48) слідує:

$$w_0 = -\frac{(\vec{B}_0)^2}{4\pi\mu g}, \quad \vec{B}_0 = \pm c \cdot \text{rot} \vec{V}_0 \quad (49, 50)$$

Тут \vec{B}_0 – індукція магнітного поля, відповідно, для електромагнітного та гравітаційного полів. Отже, стаціонарні рівноважні форми цих полів мають магнітну природу.

Слід спеціально відмітити, що рівноважна умова (40) є суттєво нелінійною щодо \vec{V} (однорідне рівняння Ейлера), а співвідношення (41) отримане на основі саме комплексної Ейлерової експоненти у хвильовій формі (36) – без виділення суто дійсної або ж суто уявної частини. Таким чином, колапсні форми полів, що розглядаються тут можливі лише у комплексному Евклідовому просторі. Вони утворюються за рахунок динамічної контактної взаємодії та спарення форм, належних до дійсного та уявного півпросторів комплексного Евклідового простору. При цьому всі вище наведені співвідношення, що містять швидкість світла c та її квадрат c^2 , записані для дійсного півпростору. При переході до уявної половини слід провести відповідну заміну:

$$c \rightarrow ic, \quad c^2 \rightarrow -c^2 \quad (51, 52)$$

Квантове описання рівноважних польових форм

Нелінійність рівнянь поля (15, 31, 34), взагалі кажучи, виключає застосування тут принципу суперпозиції. Однак, частково ця трудність обходиться в концепції квазічастинок як колективних збурень поля [1, 2]. В даному випадку мова йде про т.з. хітони (heatons), що характеризуються співвідношеннями:

$$E = \vec{p} \cdot \vec{V}, \quad \vec{p} = Y \cdot \vec{k}, \quad (53, 54)$$

де E, \vec{p} – енергія та імпульс квазічастинок, Y – зазначений вище аналог постійної Планка. Відповідно до (41) маємо:

$$\omega = \vec{k} \cdot \vec{V}, \quad E = Y \vec{k} \cdot \vec{V} = Y \omega \quad (55, 56)$$

Заміна (51, 52) при суто уявних \vec{k} та \vec{V} , як видно з (45, 46) залишає додатною густину маси, однак, змінює на від'ємну густину енергії польової форми. Тобто сумарна енергія пари рівна нулю за умови повної антисиметрії. Однак, саме спонтанне або ж цілеспрямоване порушення антисиметрії й породжує речовину, а також відомі форми електромагнітних, гравітаційних, акустичних, гідродинамічних хвиль в окремо взятих дійсній та уявній половині комплексного Евклідового простору. Це є прямим порушенням законів збереження, на яких заціклена сучасна фізика. Однак, це цілком відповідає, зокрема, базовому принципу квантової механіки – принципу невизначеності. Такий механізм узгоджується також з теологічною концепцією Творення з нічого (Creatio ex nihilo) та спростовує міф про «вічну» нестворювану та незнищену матерію, який є основою вульгарного матеріалізму. Отже, у комплексному Евклідовому просторі за рахунок контактної взаємодії польових форм, а також порушення антисиметрії, матерія і створюється і знищується, а не тільки взаємоперетворюється, як це зазвичай вважається [1, 2].

Введемо корпускулярно-вихор-хвильову масу m хітонів наступним чином:

$$mV = Y \cdot k, \quad (57)$$

де V – модуль групової швидкості, k – хвильове число. Тоді співвідношення (55, 56) можуть бути записані у вигляді:

$$\omega = k \cdot V \cdot \cos \alpha = \frac{Y}{m} k^2 \cdot \cos \alpha = \frac{m}{Y} V^2 \cdot \cos \alpha \quad (58)$$

$$E = Y \omega = \frac{Y^2}{m} k^2 \cdot \cos \alpha = m V^2 \cdot \cos \alpha \quad (59)$$

де $\cos \alpha$ – параметр, який у випадку суто дійсних або ж суто уявних векторів \vec{k} та \vec{V} має значення косинуса кута між ними. В комплексному випадку цей параметр, не маючи такого очевидного значення, тим

не менш, може бути введений в силу нерівності Коші–Буняковського, справедливої також і для комплексного Евклідового простору.

Розглянемо спарені квазічастинки з протилежними спіральностями з дійсного та уявного півпросторів комплексного евклідового простору, відносячи їх, як вже зазначалось, до категорії бозонів. В кожному з цих півпросторів рівноважний енергетичний спектр хітонів задається виразом:

$$u(\omega, T_{he}) d\omega = \frac{Y\omega}{e^{\frac{Y\omega}{T_{he}}} - 1} \cdot dn_{\omega} \quad (60)$$

де u – об’ємна густина енергії поля в діапазоні частот $d\omega$, n_{ω} – густина енергетичних рівнів у цьому діапазоні, T_{he} – хітонна температура: додатна для дійсного півпростору та від’ємна для уявного півпростору комплексного Евклідового простору. В останньому випадку хід часу має протилежний напрям (щодо дійсного півпростору), а частоти ω – від’ємні. З врахуванням (58) маємо:

$$dn_{\omega} = \frac{k^2 \cdot dk}{\pi^2} = \frac{k}{2\pi^2 \cos \alpha} \cdot \frac{m}{Y} d\omega \quad (61)$$

Випромінювальна здатність хітонного термокомплексу має вид:

$$f(\omega, T_{he}) = \frac{\nu}{4} \cdot u(\omega, T_{he}) \quad (62)$$

або ж із врахуванням (60–62):

$$f(\omega, T_{he}) = \frac{1}{8\pi^2} \cdot \frac{m\omega^2}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{1}{e^{\frac{Y\omega}{T_{he}}} - 1} \quad (63)$$

Як видно, на відміну від випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла [1, 2], вираз (63) не містить сталої c , включаючи натомість ефективну масу m та параметр $\cos \alpha$. Інтегральна випромінювальна здатність (енергетична світимість) хітонного термокомплексу задається виразом:

$$R_{he}^* = \int_0^{\infty} f(\omega, T_{he}) d\omega = \frac{\zeta(3) \cdot m}{4\pi^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot \left(\frac{T_{he}}{Y}\right)^3, \quad (64)$$

де $\zeta(3)$ – дзета-функція Рімана. Як видно, на відміну від абсолютно чорного тіла, ця енергетична світимість пропорційна третьому (а не четвертому) степеню температури.

Випромінювальна здатність хітонного термокомплексу за довжиною хвилі λ становить відповідно:

$$\varphi(\lambda, T_{he}) = \cos \alpha \cdot \frac{(4\pi^2)^2}{\lambda^7} \cdot \frac{Y^3}{m^2} \cdot \left(e^{\frac{4\pi^2 Y^2 \cdot \cos \alpha}{T_{he} \cdot m \lambda^2}} - 1\right)^{-1} \quad (65)$$

У випадку довгих хвиль, розкладаючи експоненту в ряд, отримаємо:

$$\varphi(\lambda, T_{he}) = 4\pi^2 \frac{Y}{m} \cdot T_{he} \cdot \frac{1}{\lambda^5} \quad (66)$$

У цьому випадку функція $f(\omega, T_{he})$ лінійно залежить від частоти:

$$f(\omega, T_{he}) = \frac{1}{8\pi^2} \frac{m\omega}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{T_{he}}{Y} \quad (67)$$

Функція $\varphi(\lambda, T_{he})$ має максимум на довжині хвилі λ_{\max} , що визначається з умови:

$$\lambda_{\max}^2 = \frac{4\pi^2 Y^2 \cdot \cos \alpha}{T_{he} \cdot m \cdot \beta}, \quad (68)$$

де $\beta \approx 3,3809$ – корінь трансцендентного рівняння

$$x \cdot e^x - 3,5(e^x - 1) = 0 \quad (69)$$

Натомість функція $f(\omega, T_{he})$ має максимум на частоті ω_{\max} , яка визначається співвідношенням:

$$\omega_{\max} = \gamma \cdot \frac{T_{he}}{Y}, \quad (70)$$

де $\gamma \approx 1,5936$ – корінь трансцендентного рівняння

$$x \cdot e^x - 2(e^x - 1) = 0 \quad (71)$$

Має місце наступне співвідношення :

$$\frac{\omega(b_{max})}{\omega_{max}} = \frac{\beta}{\gamma} \approx 2,1215 \quad (72)$$

Фактор $\cos \alpha$ у співвідношеннях (63–67) є характерною особливістю хітонного випромінювання, що суттєво відрізняє його від добре відомого рівноважного електромагнітного теплового випромінювання. Адекватність отриманих теоретичних співвідношень буде підтверджена нижче на основі аналізу спектрів хітонного випромінювання в технічних та космічних системах.

Основний стан поля. Утворення речовини

Основний стан поля характеризується переходом:

$$T_{he} \rightarrow 0 \quad (73)$$

При цьому виконуються умови:

$$mV^2 \cdot \cos \alpha = mc^2, \quad mV = Yk, \quad \cos \alpha = \frac{Y_B}{Y}, \quad (74-76)$$

де Y_B – базове значення параметра Y на попередній ступені енергетичного каскаду. Найнижча ступінь тут визначається сталою Планка.

З (74–76) слідує:

$$\frac{Y}{Y_B} = \left(\frac{mc}{Y_B \cdot k} \right)^2 = \frac{V^2}{c^2} \quad (77)$$

Утворення стабільних та квазістабільних форм речовини згідно (73) веде до охолодження поля. Види такої речовини різноманітні – від елементарних частинок, ядер, атомів та молекул до пилу, метеороїдів, комет, астероїдів, планет, зір, квазарів і т.п. Зупинимось тут лише на двох конкретних прикладах. Перший стосується циклічних змін клімату Землі, обумовлених утворенням пилу в атмосфері нашої планети. З даних рис. 1 видно, що мінімуми температури в льодовикові періоди чітко корелюють з максимумами пилоутворення в атмосфері. Навпаки, різкі піки глобальних потеплень (у т.ч. – сучасного) супроводжуються зменшенням пилоутворення та, відповідно, посухами через різке зменшення пилових центрів конденсації водяних крапель.

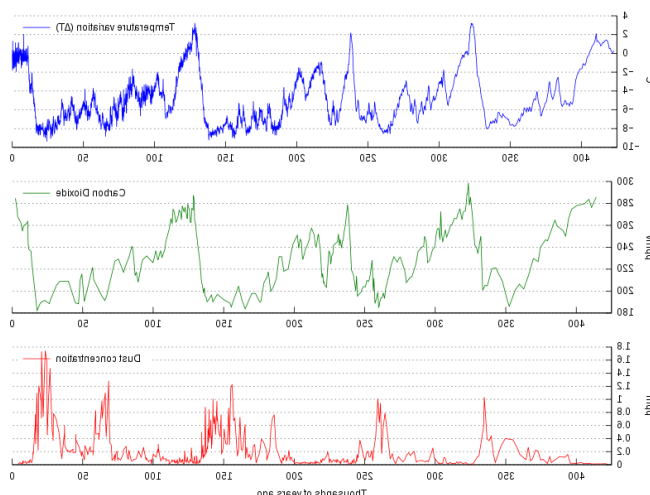


Рис. 1. Періодограми варіацій температури, вмісту вуглекислого газу та вмісту пилу в атмосфері Землі [18]

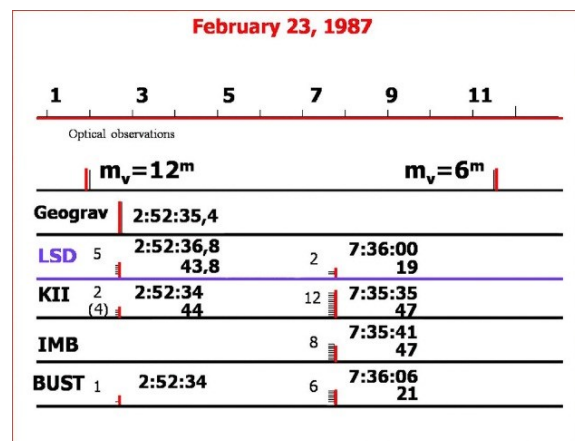


Рис. 2. Періодограми надходження світлових та нейтринних спалахів від вибуху наднової зорі SN1987A [3]

Інший приклад стосується механізмів гравітаційного колапсу. На рис.2 показані періодограми двох нейтринних спалахів, що супроводжували т.з. вибух наднової зорі SN1987A. Наявність саме двох (а не одного) спалахів не вписується в жоден із відомих механізмів гравітаційного колапсу [1,3]. Між тим, із наведених вище співвідношень слідує, що перший спалах відповідає пікноядерним реакціям в охолоджених надрах зорі на етапі колапсу, а другий – термоядерним реакціям в процесі постколапсного розширення. Характер такого розширення варіюється в широкому діапазоні – від спокійного синтезу нового космічного об'єкта до вибухового скидання частини, або ж всієї новоутвореної маси. Сам процес колапсу та його найкритичніше постколапсне продовження, як видно з даних рис. 2, триває недовго – лічені години. Отже, зорі запалюють швидко – і не на пізніх етапах їх еволюції [1, 3], а на самому початку.

Спектр Сонця

Спектри сонячного випромінювання, зняті за довжиною хвилі у м'якому рентгенівському, оптичному та радіо діапазонах, показані на рис. 3. У першому наближенні вони зазвичай описуються як спектри теплового випромінювання абсолютно чорного тіла [1]. Однак, таке описання одразу стикається з протиріччями. В той час як максимум спектру ($\lambda \approx 450$ nm) відповідає за законом Віна температурі $T \approx 6440$ °K, ефективна температура Сонця оцінюється в 5830 °K [1]. Крім того, головний максимум (рис. 3) суттєво завужений щодо

інтерполяційного спектру чорного тіла та містить явно виражені локальні екстремуми в короткохвильовій частині. Ці та інші невідповідності існуючих фізичних моделей Сонця пояснюються тим, що спектри та енергетика Сонця в цілому визначаються не тепловим (у звичному розумінні), а хітонним випромінюванням. Як видно з (66), таке випромінювання у довгохвильовій частині спадає пропорційно λ^{-5} , а не $\sim \lambda^{-4}$ як теплове, що пояснює зазначену вище звуженість спектру в цій частині. В той же час, як слідує з (63), в короткохвильовій частині хітонний спектр пропорційний ω^2 , а не $\sim \omega^3$ як тепловий, що обумовлює звуженість спектру і в цій частині, адже експонента в знаменнику (63) швидше нівелює наростання ω^2 ніж ω^3 . Однак, головна особливість хітонного спектру визначається фактором $\cos \alpha$ в (63–67). В умовах колапсної автонакачки хітонних збурень на окремих частотах $\cos \alpha \rightarrow 0$ при одночасному різкому зростанні V та k . Це веде до резонансного зростання інтенсивності хітонного випромінювання на цих частотах. В явному вигляді це слідує з (63). Однак, на спектрах за довжиною хвилі (рис. 3) аналогічне зростання не важко встановити з аналізу виразу (65) на коротких хвилях. При $\cos \alpha \rightarrow 0$, розкладаючи тут експоненту в ряд, приходимо до співвідношення (66), як і у довгохвильовій частині, однак, вже не на довгих, а на коротких хвилях. При цьому, як видно, фактор $\sim \lambda^{-5}$ забезпечує відповідний ріст інтенсивності. Навпаки, у довгохвильовій частині вираз (66) не містить параметр $\cos \alpha$, що й пояснює паралельний хід хітонного та чорнотільного спектрів (рис. 3). Цілком аналогічна нестабільність короткохвильової частини спектру спостерігається також для максимуму у радіодіапазоні (рис. 3), відповідного умові (70) для хітонів з ефективною масою електрона. Ця нестабільність не має адекватного пояснення в рамках існуючих фізичних моделей [1]. Так само як і наявний дефіцит сонячних нейтрино, незграбно прихований за спекуляціями на осциляціях нейтрино [1], не може бути пояснений в рамках стандартної моделі Сонця, яка не враховує хітонні форми фундаментальних полів у комплексному Евклідовому просторі, що й забезпечують основну енергетичну накачку процесів на Сонці.

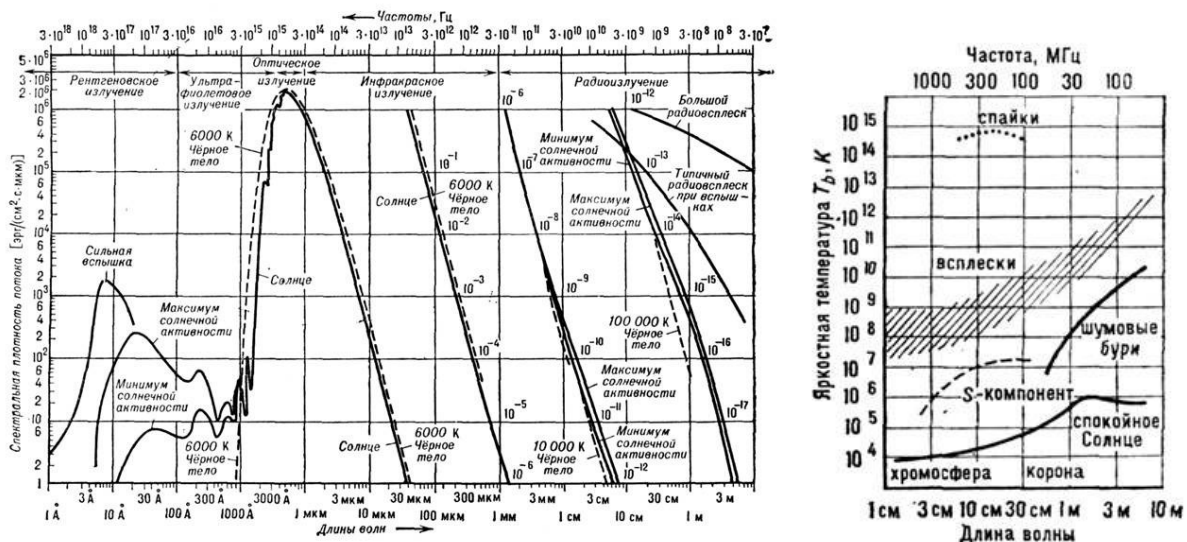


Рис. 3. Спектри випромінювання Сонця [1] (верхня частотна шкала на правому малюнку містить технічну помилку)

Підставляючи чисельні значення $\lambda_{\max} = 450 \text{ нм}$, $m = m_p$ (маса протона), $R_s^* = 6,28 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$ [1], $\cos \alpha = 1$ у (64, 68), отримаємо наступні значення для постійної Y та T_{he} , характерні для основного максимуму хітонного сонячного випромінювання:

$$Y \approx 3,1 \cdot 10^{-29} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \quad T_{he} \approx 3,3 \cdot 10^{-17} \text{ Дж} (\approx 2,4 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}) \quad (78, 79)$$

Як видно, стала Y в даному випадку більш ніж на п'ять порядків величини перевищує сталу Планка \hbar . Умова $\cos \alpha = 1$ відповідає струменевим формам розширення сонячної корони – сонячному вітру. Однак, можливий цілком інший результат розрахунку, виходячи з умови:

$$\cos \alpha = \frac{\hbar}{Y} \quad (80)$$

В такому випадку з (64–70) отримуємо:

$$\cos \alpha \approx 6,2 \cdot 10^{-9}, \quad Y \approx 1,7 \cdot 10^{-26} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \quad T_{he} \approx 6,2 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} (\approx 4,5 \cdot 10^3 \text{ }^\circ\text{K}) \quad (81–83)$$

Цей результат отримано для хітонних форм з масою протонів. У випадку електронів параметр Y нижчий у 1836 разів, однак хітонна температура співпадає з (83). Ця температура відповідає короткохвильовій інтерполяції головного максимуму у спектрі випромінювання Сонця, виходячи із теплового чорнотільного спектру [1]. Слід відмітити, що оцінки (78–83) отримані із врахуванням загальної

випромінювальної інтенсивності Сонця, а не парціальної, яка, наприклад, для сонячного вітру на вісім порядків величини менша. Це свідчить про кооперативний характер динамічних процесів на Сонці. В цьому контексті відмітимо також прямий зв'язок спектральних максимумів у видимому та радіодіапазонах (рис.3), які характеризують одну і ту ж польову структуру – відповідно за довжиною хвилі та за частотою, не зважаючи на те, що інтенсивність випромінювання у радіодіапазоні на багато порядків нижча.

Характерні максимуми у спектрах сонячної активності (передусім, квазіодинамичні) описуються виразом (70) з тим зауваженням, що для масштабів гравітаційного поля параметр Y несумірно великий щодо \hbar . В зв'язку з цим слід спеціально відмітити каскадний характер Y , постійної лише для даного конкретного термокомплексу, відповідного тій чи іншій температурі T_{he} . Відмічена особливість є прямим проявом корпускулярно-хвильового дуалізму в макросистемах, а не тільки в мікросистемах (відповідно до \hbar), як це зазвичай вважається [1, 2].

Колайдерні спектри

Прикладом цілковитої неадекватності т.з. стандартних фізичних моделей – у даному випадку стандартної моделі фундаментальних взаємодій (SM) – є намагання пояснити спектри колайдерних резонансів на основі SM. На рис. 4–7 наведені такого роду спектри в порівнянні з їх технічними аналогами, що не мають жодного відношення до SM, однак описуються одними й тими ж співвідношеннями, наведеними вище. На рис. 4, 5 чітко проявлена лінійна залежність інтенсивності від частоти у довгохвильовій частині – відповідно до (67). Хітонні резонанси, обумовлені фактором $\cos \alpha$ на рис. 4–7, відображають нерівноважний характер колапсної енергетичної самонакачки збурень, за якої різко зростає параметр Y при умові стабілізації частоти резонансу та нарощування енергії поля за рахунок кількості квантів. Наявність вищих гармонік від основних резонансних максимумів (рис. 6, 7) також свідчить про колапсне стискання та бафтингову динаміку накачки. В той же час, явно виражений широкий хітонний максимум на енергії близько 29 Гев (рис. 7), цілковито проігнорований в SM, описується виразом (63) для квазірівноважного хітонного випромінювання.

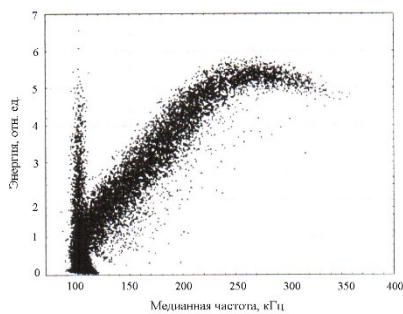


Рис. 4. Залежність енергії акустичного сигналу від медіанної частоти в контактній трибосистемі [21]

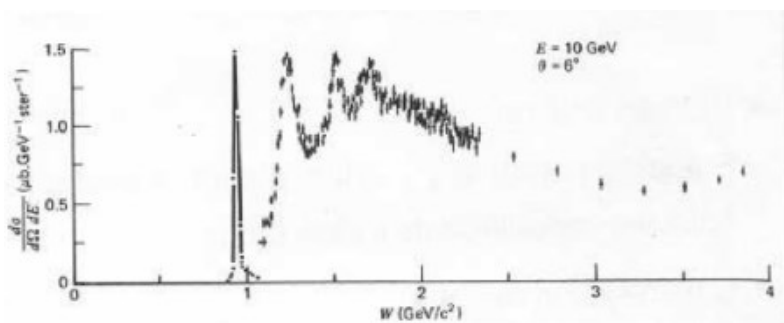


Рис. 5. Спектр розсіяння електронів на протонах [19]

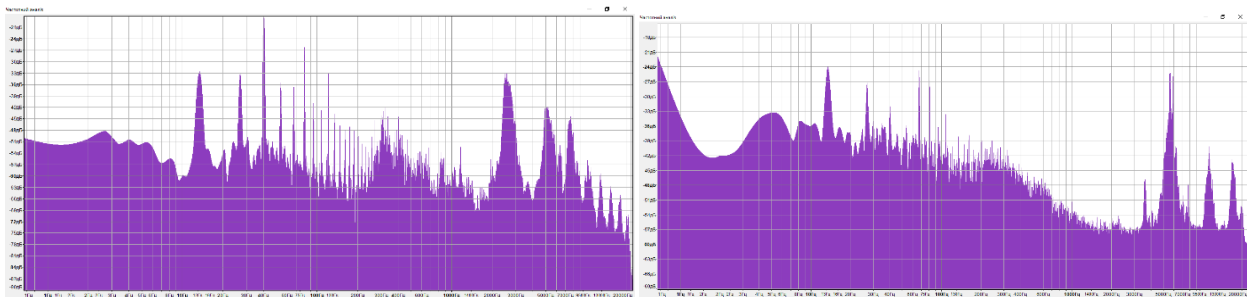


Рис. 6. Спектри акустичної емісії процесів різання в динамічно навантажених режимах бафтингу-флаттеру

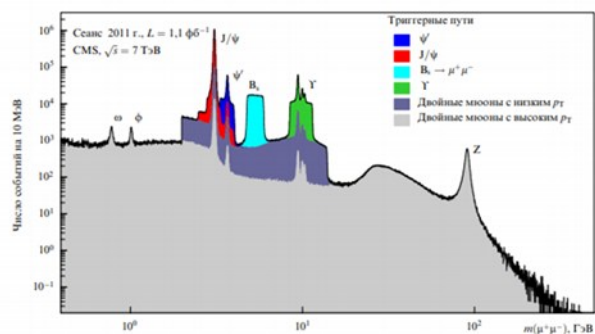
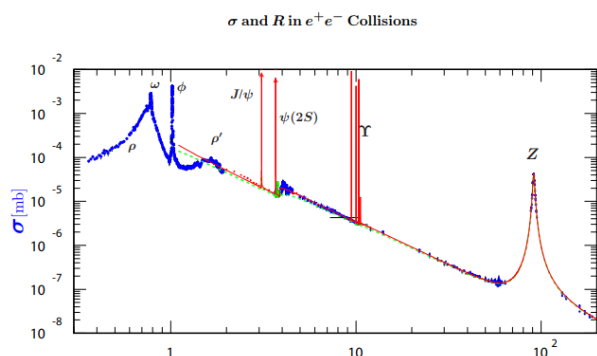


Рис. 7. Спектри розсіяння позитронів на електронах (зліва) [20] та протонів на протонах (справа) [4, 5]

Чітко виражені енергетичні каскади на рис. 7 зі степеневим спектром обумовлені зазначеною вище нелінійністю рівнянь поля. Аналогічна картина спостерігається також і на технічних спектрах різання (рис. 6), однак вже у цілком іншому енергетичному діапазоні.

Спектри мікрохвильового фонового випромінювання

На рис. 8 наведені енергетичні спектри та спектри кутових варіацій мікрохвильового фонового випромінювання, що стали основою ще однієї хибної стандартної моделі – на цей раз космологічної (Λ CDM) [6]. Сучасне фізичне товариство, називаючи це випромінювання «реліктовим» (з подачі Йосипа Шкловського), витрачаючи значні кошти на розробку та запуск космічних систем аналізу такого випромінювання та публікуючи об'ємні звіти щодо результатів аналізу [7], не підозрює, що в дійсності досліджує не ілюзорний спадок т.з. Великого вибуху, а хітонне випромінювання Хмари Оорта з умовно еквівалентною термодинамічною температурою близько 2,7 °K – дещо вищою температури фазового переходу He I – He II у Хмарі Оорта. Окрім вже згаданого випромінювання Хмари Оорта, на жаль, надсилає нам ще й космічні промені середніх, високих та надвисоких енергій [8], а також комети з ядовитим цианом (CN) та його сполуками. Циклічна активація цього процесу в масштабах десятків мільйонів років, на наш погляд, є основним фактором масових вимирань в історії Землі. Власне, мікрохвильове фонове випромінювання й було попередньо відкрите шляхом аналізу спектрів поглинання молекули циану (CN) [6], однак, не у міжзоряному середовищі (як це хибно вважається), а саме в середовищі Хмари Оорта, багатому на циан. При цьому, замерзлий стан кометних ядер обумовлюється співвідношенням (73).

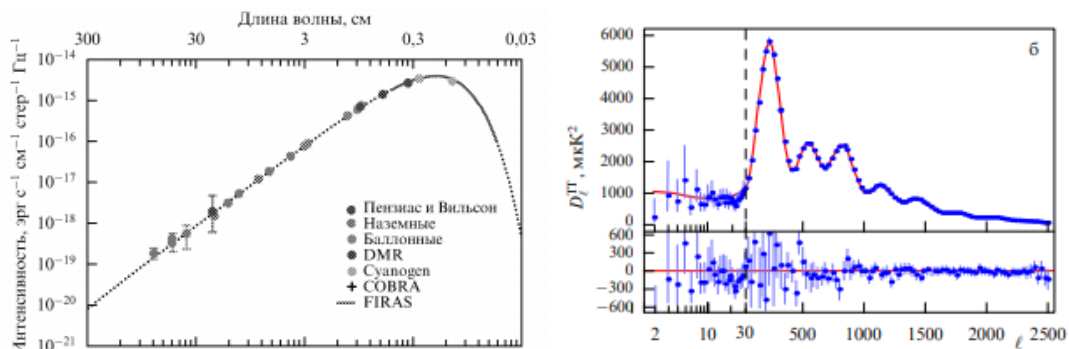


Рис. 8. Енергетичний спектр (зліва) та спектр кутових варіацій (справа) мікрохвильового фонового випромінювання [6]

Спектр кутових варіацій мікрохвильового фонового випромінювання (рис. 8), спекуляції щодо якого стали основою Λ CDM [6], в дійсності демонструє характерний обернений енергетичний каскад, вже відмічений вище для колайдерних та технічних систем.

В даному контексті слід згадати також ще одне «підтвердження» ідеї Великого вибуху – т.з. Хабблівський потік [1], або ж розширення Всесвіту, яке чомусь розпочинається вже на достатньо малих, зовсім не космологічних масштабах – рис. 9. Пояснення просте – потік, відкритий Хабблом, походить не від Великого вибуху (у що він і сам не вірив), а відображає лише тривимірну струменеву компоненту руху космічної речовини, для якої частота (постійна Хаббла) у виразі (55) залишається сталою – при тому, що групова швидкість нарощується обернено до хвильового вектора, або ж відповідно прямо пропорційно до відстані (довжини хвилі). Енергетичним джерелом цього процесу є контактна взаємодія спарених форм гравітаційного поля у комплексному Евклідовому просторі. Це недоступно для розуміння в рамках загальної теорії відносності Ейнштейна, зацикленої на формах матерії у суто дійсній половині згаданого простору. Така вполовиненість зводить нанівець всі намагання щодо пошуків таємничої темної матерії та енергії, якими знаменита сучасна фізика [1, 5, 6].

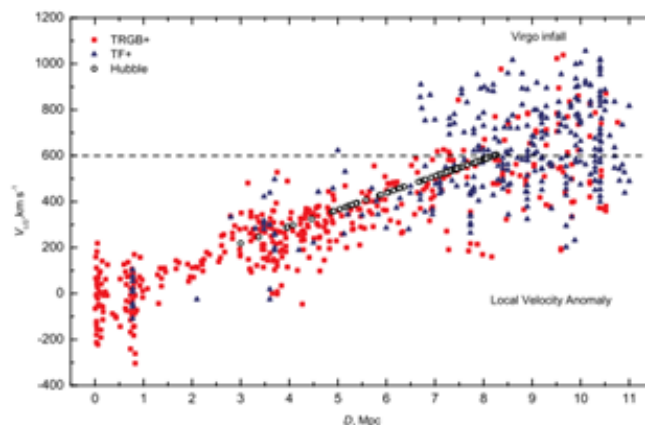


Рис. 9. Співвідношення «променева швидкість – відстань» для галактик місцевого об'єму [9]

Спектри нестационарних процесів в космічних та геодинамічних системах

На рис. 10-11 наведені різноманітні спектри нестационарних процесів в космічних та геодинамічних системах, які демонструють домінування оберненого енергетичного каскаду в таких системах, обумовленого нелінійністю вище наведених рівнянь поля та відповідним взаємозв'язком польових форм. Такого роду взаємозв'язок пояснює всю глибинну геодинаміку, сейсмічність, вулканізм, генерацію геомагнітного поля та різномасштабні циклічні зміни клімату Землі.

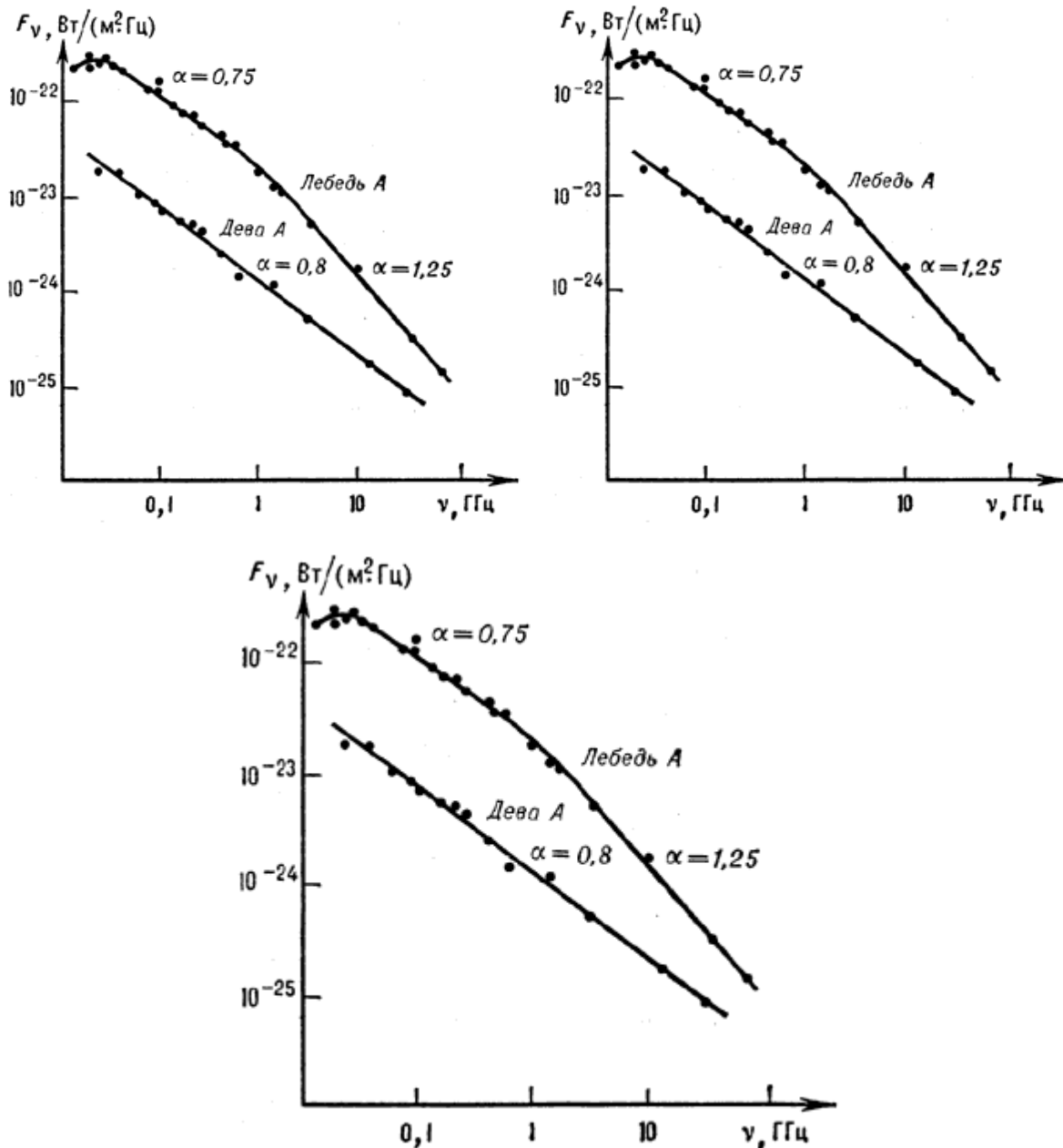


Рис. 10. Спектри випромінювання радіогалактик, квазарів, пульсарів та залишків наднових [1]

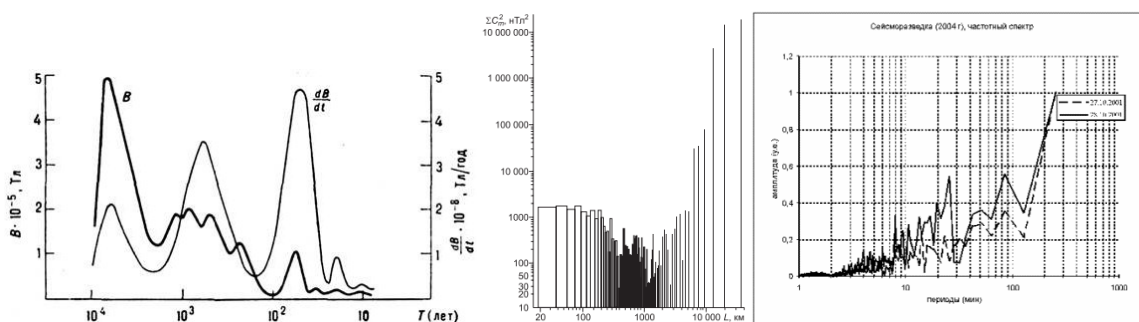


Рис. 11. Спектри часових та просторових варіацій геомагнітного поля (зліва, посередині) [1] та спектр неприливних варіацій гравітаційного поля Землі [10]

Технічні невдачі в галузі керованого термоядерного синтезу

Багатолітні намагання здійснити керований термоядерний синтез на основі хибних рівнянь магнітної гідродинаміки (МГД), що цілковито ігнорують струм зміщення в рівняннях Максвелла [1, 11], так і ні до чого не привели. Чого тільки варті схематичні пояснення фізичних механізмів т.з. пилкоподібних коливань плазми та периферійних зривів на токамаках, зроблені на основі одних лише уявлень про перемикавання магнітних силових ліній [11].

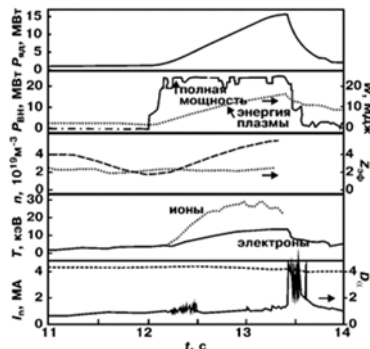


Рис. 12. Періодограми великого периферійного зриву на термоядерному реакторі JET [12]

На рис. 12 наведені періодограми великого периферійного зриву на термоядерному реакторі JET (найбільшому на той час у світі) у жовтні 1997 р. – зриву, що фактично поставив крапку на концепції токамаків та перевів увагу теоретиків МГД на стеларатори. Однак, самоорганізація плазми в такого роду системах здійснюється не в суто дійсному півпросторі, а в цілому комплексному Евклідовому просторі. Така самоорганізація вирівнює поле температури по перерізу плазмового шнура за рахунок струменевих викидів плазми від центру до периферії – ближньої у випадку пилкоподібних коливань [11] та дальньої (на стінки робочої камери) у випадку великого зриву. Ці викиди, згідно зі співвідношенням (35) для електромагнітного поля, зменшують температуру плазми у центрі (зона прискорення) та збільшують її на периферії (зона гальмування). Цілковито аналогічно та вельми наочно струменеві викиди спікул з фотосфери у верхню хромосферу та нижню корону Сонця обумовлюють температурний мінімум між фотосферою та хромосферою та нагрівання внутрішньої корони Сонця.

Чорнобильська та Саяно-Шушенська катастрофи

На масштабах ядерних енергоблоків здійснюється гібридна електромагнітно-гравітаційна польова динаміка, що веде у катастрофічних випадках до різких та непередбачуваних градієнтів температури. На рис. 13 показані фотографії вельми специфічних структур у паливовмісних скломасах, сформованих в результаті аварії на ЧАЕС. Як сама наявність таких скломас, так і морфологія структур свідчать про рекордні градієнти температур в процесі їх формування [13], за яких, зокрема, стало можливим цілковите розплавлення та деструкція активної зони реактора при парадоксальному, на перший погляд, збереженні фрагментарних шарів фарби на внутрішніх стінах реактора [14].

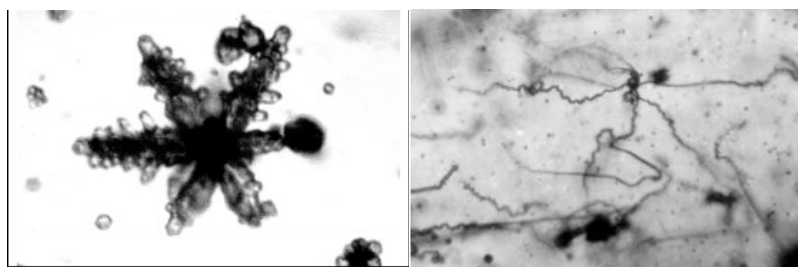


Рис. 13. Скелетні та нитковидні структури у паливовмісних скломасах, утворених в результаті катастрофи на ЧАЕС [13]

Бафтингова колапсна динаміка Саяно-Шушенської катастрофи добре відображена на відповідних сейсмограмах – рис. 14. Активна фаза катастрофи, як видно, зайняла близько 20 секунд. На рис. 15 показані спектри цих сейсмограм на різних етапах активної фази. Подвоєння основної бафтингової частоти (0,4-0,5 Гц) на першому етапі катастрофи (злому шпильок кришки турбіни другого гідроагрегату) та її потроєння на другому етапі (підймання ротора та облому кріплень лопаток направляючого апарату) цілком відповідає співвідношенню (70) із врахуванням двох-трьох разового збільшення температури відповідно на зломах шпильок та на зломах цапф лопаток, визначеного на основі аналізу кольору оксидних плівок на цих елементах [15]. Завершальний етап катастрофи, як видно зі спектрів, характеризувався посиленням динаміки збурень та зростанням температури вчетверо.

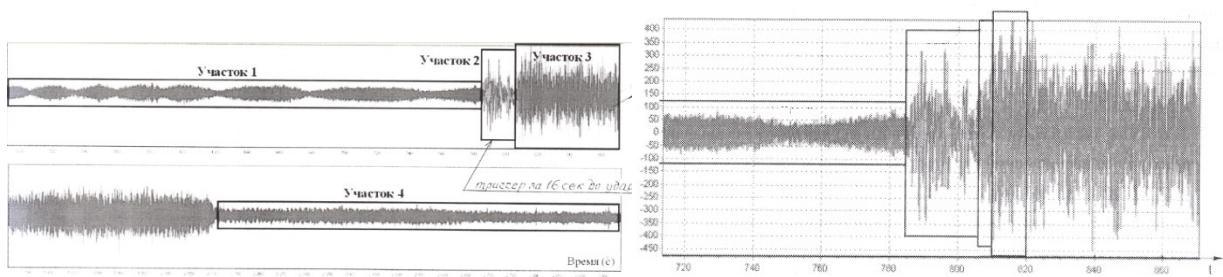


Рис. 14. Сейсмограми катастрофи на СШГЕС [16, 17]

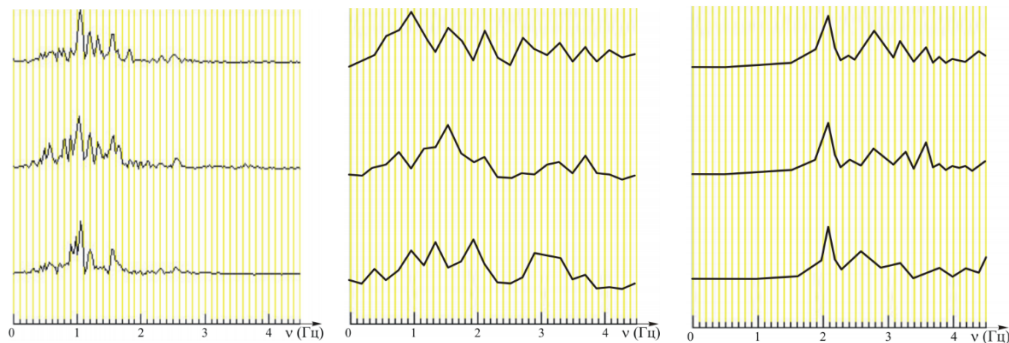


Рис. 15. Спектри сейсмограм активної фази катастрофи на СШГЕС [17]

Відмічені вище спектри характеризують максимуми інтенсивності хітонного випромінювання за частотою. В робочих режимах енергетичних агрегатів ці максимуми є вторинними порівняно з основними максимумами за довжиною хвилі згідно з (68), а дисипація енергії збурень здійснюється переважно в електромагнітне теплове випромінювання. Перехід в ненормативні та катастрофічні режими характеризується різким посиленням частотних вібраційних максимумів (70) та комбінованим динамічно-термічним впливом збурень на систему. Такого роду переходи не враховуються існуючими методиками розрахунку на міцність та вібростійкість, що створює ризик нових катастроф в енергетиці.

Література

1. Физическая энциклопедия : [в 5 т. / под ред. А.М. Прохорова]. – Москва : Большая рос. энци., 1999. – 760 с.
2. Физика микромира. Маленькая энциклопедия / [под ред. Д.В. Ширкова]. – Москва : Сов. энци., 1980. – 528 с.
3. Рязская О.Г. Нейтрино от гравитационных коллапсов звезды: современный статус эксперимента / О.Г. Рязская // УФН. – 2006. – Т. 176, № 10. – С. 1039–1050
4. Ланев А.В. Результаты коллаборации CMS: бозон Хиггса и поиски новой физики / А.В. Ланев // УФН. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 996–1004.
5. Боос Э.Э. Стандартная модель и предсказания для бозона Хиггса / Э.Э. Боос // УФН. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 985–996.
6. Смут Дж.Ф. Анизотропия реликтового излучения: открытие и научное значение : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2006 / Дж. Ф. Смут // УФН. – 2007. – Т. 177, № 12. – С. 1294–1317.
7. Верховданов О.В. Космологические результаты космической миссии "Планк". Сравнение с данными экспериментов WMAP и WISEP2 / О.В. Верховданов // УФН. – 2016, Т. 186, №1, –С. 3-46
8. Заспа Ю.П. Корпускулярно-вихор-хвильові термокомплекси (тріони) в гетерогенних системах: технічних, космічних, псевдоелементарних, біологічних. Ядро Землі: чавун, рідкий вуглець та алмази. Великий адронний колайдер: гаряча трансформація протонів. Хмара Оорта: холодний колапсний генератор космічних променів надвисоких енергій та джерело мікрохвильового фонових випромінювання / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2019. – № 4 (275). – С. 227–241.
9. Караченцев И.Д. Карликовые галактики в местном объеме / И.Д. Караченцев, Е.И. Кайсина // Астрофизический бюллетень. – 2019. – Т. 74, № 2. – С. 119–137.
10. Антонов Ю.В. Связь непривливых вариаций вертикального градиента силы тяжести с сейсмической активностью земных недр / Ю.В. Антонов, Л.И. Надежка, И.Н. Софронич, К.С. Черников // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. – 2004. – № 2. – С. 158–161.
11. Кадомцев Б.Б. Перезамыкание магнитных силовых линий / Б.Б. Кадомцев // УФН. – 1987. – Т. 151, вып. 1, – С. 3–29
12. Мирнов С.В. Токамаки: триумф или поражение? / С.В. Мирнов // Природа. – 1999. – № 12. – С. 26–37.

13. Савоненков В.Г. Радиологическое исследование топливосодержащих новообразований, возникших в результате аварии на Чернобыльской АЭС / В.Г. Савоненков, Е.Б. Андерсон, Е.А. Смирнова, С.И. Шабаяв // Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина. – 2009. – Т. XIV. – С. 87–117.
14. Новосельский О.Ю. Технические аспекты аварии на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС: Препринт ФГУП НИКИЭТ ET-05/70 / Новосельский О.Ю., Черкашов Ю.М., Чечеров К.П. – М. : Изд-во “ГУП НИКИЭТ”, 2005. – 27 с.
15. Заспа Ю.П. Ядерний та гідродинамічний бафтинг, флаттер та колапс в гетерогенних системах: псевдокооперативна вихор-хвильова динаміка і топологія Чорнобильської та Саяно-Шушенської катастроф / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 2 (271). – С. 238–248.
16. Марчук А.Н. Геологические и геодинамические аспекты в комплексе причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС / А.Н. Марчук // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 1. – С. 48–57.
17. Лобановский Ю.И. Гидроакустический бустинг – способ возбуждения катастрофических автоколебаний в напорной системе Саяно-Шушенской ГЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://synerjetics.ru/article/busting.htm>
18. Льодовикова ера [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki>
19. Probing the Proton: Electron – Proton Scattering [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www2.ph.ed.ac.uk/~vjm/Lectures/.../PPNotes3.pdf>
20. Review of Particle physics. Particle Data Group. URL: <http://pdg.lbl.gov>
21. Колубаев Е.А. Особенности акустического излучения при трении стали Гадфильда / Е.А. Колубаев, О.В. Сизова, С.А. Пупынин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. Т. 319, № 2. – С. 62–66.

References

1. Fizicheskaya enciklopediya : [v 5 t. / pod red. A.M. Prohorova]. – Moskva : Bolshaya ross. enc., 1999. – 760 s.
2. Fizika mikromira. Malenkaya enciklopediya / [pod red. D.V. Shirkova]. – Moskva : Sov. enc., 1980. – 528 s.
3. Ryazhskaya O.G. Nejtrino ot gravitacionnyh kollapsov zvezdy: sovremennyy status eksperimenta / O.G. Ryazhskaya // UFN. – 2006. – Т. 176, № 10. – С. 1039–1050
4. Lanev A.V. Rezultaty kollaboracii CMS: bozon Higgsa i poiski novoj fiziki / A.V. Lanev // UFN. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 996–1004.
5. Boos E.E. Standartnaya model i predskazaniya dlya bozona Higgsa / E.E. Boos // UFN. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 985–996.
6. Smut Dzh.F. Anizotropiya reliktovoogo izlucheniya: otkrytie i nauchnoe znachenie : Nobelevskaya lekciya. Stokgolm, 8 dekabrya 2006 / Dzh. F. Smut // UFN. – 2007. – Т. 177, № 12. – С. 1294–1317.
7. Verhodanov O.V. Kosmologicheskie rezultaty kosmicheskoy missii “Plank”. Sravnenie s dannymi eksperimentov WMAP i BICEP2 / O.V. Verhodanov // UFN. – 2016, Т. 186, № 1, – С. 3–46
8. Zaspа Yu.P. Korpuskulyarno-vihor-hvilovi termokompleksi (trioni) v geterogennih sistemah: tehnicnih, kosmichnih, psevdoelementarnih, biologichnih. Yadro Zemli: chavun, ridkij vuglec ta almazi. Velikij adronnij kolajder: garyacha transformaciya protoniv. Hmara Oorta: holodnij kolapsnij generator kosmichnih promeniv nadvisokih energij ta dzherelo mikrohviloogo fonovogo viprominyuvannya / Yu.P. Zaspа // Herald of Khmelnytskyi National University. – Tehnichni nauki. – 2019. – № 4 (275). – С. 227–241.
9. Karachencev I.D. Karlikovyie galaktiki v mestnom obeme / I.D. Karachencev, E.I. Kajsina // Astrofizicheskij byulleten. – 2019. – Т. 74, № 2. – С. 119–137.
10. Antonov Yu.V. Cvyaz neprilivnyh variacij vertikalnogo gradienta sily tyazhesti s sejsmicheskoy aktivnostyu zemnyh neдр / Yu.V. Antonov, L.I. Nadezhka, I.N. Sofronich, K.S. Chernikov // Vestn. Voronezh. un-ta. Geologiya. – 2004. – № 2. – С. 158–161.
11. Kadomcev B.B. Perezamykanie magnitnyh silovyh linij / B.B. Kadomcev // UFN. – 1987. – Т. 151, vyp. 1, – С. 3–29
12. Mironov S.V. Tokamaki: triumf ili porazhenie? / S.V. Mironov // Priroda. – 1999. – № 12. – С. 26–37.
13. Savonenkov V.G. Radiologicheskoe issledovanie toplivosoderzhashih novoobrazovaniy, vznikshih v rezultate avarii na Chernobylskoy AES / V.G. Savonenkov, E.B. Anderson, E.A. Smirnova, S.I. Shabayev // Trudy Radiovogo instituta im. V.G. Hlopina. – 2009. – Т. XIV. – С. 87–117.
14. Novoselskij O.Yu. Tehnicheskie aspekty avarii na 4-m energobloke Chernobylskoy AES: Preprint FGUP NIKIET ET-05/70 / Novoselskij O.Yu., Cherkashov Yu.M., Chcherov K.P. – М. : Izd-vo “ГУП НИКИЭТ”, 2005. – 27 с.
15. Zaspа Yu.P. Yaderniy ta hidrodinamichnyi baftynh, flatter ta kolaps v heterohennykh systemakh: psevdokooperativna vykhor-khvylova dynamika i topologhiia Chornobylskoi ta Saiano-Shushenskoi katastrof / Yu.P. Zaspа // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 2 (271). – С. 238–248.
16. Marchuk A.N. Geologicheskies i geodinamicheskies aspekty v komplekse prichin avarii na Sayano-Shushenskoy GES / A.N. Marchuk // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2012. – № 1. – С. 48–57.
17. Lobanovskij Yu.I. Gidroakusticheskij busting – sposob vzbuzhdeniya katastroficheskikh avtokolebaniy v napornoj sisteme Sayano-Shushenskoy GES [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://synerjetics.ru/article/busting.htm>
18. Lodovikova era [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://uk.wikipedia.org/wiki>
19. Probing the Proton: Electron – Proton Scattering [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://www2.ph.ed.ac.uk/~vjm/Lectures/.../PPNotes3.pdf>
20. Review of Particle physics. Particle Data Group. URL: <http://pdg.lbl.gov>
21. Kolubaev E.A. Osobennosti akusticheskogo izlucheniya pri trenii stali Gadfilda / E.A. Kolubaev, O.V. Sizova, S.A. Pupyin // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2011. Т. 319, № 2. – С. 62–66.

Ю.П. ЗАСПА

zaspа_yuriy@ukr.net

Надійшла/Paper received : 04.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, А.І. ПОВХ

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗАБУДОВИ МІСТА

Мета наукової статті полягає в дослідженні впливу внутрішньосистемних завад, які виникають внаслідок переміщення мобільної станції в стільнику зони обслуговування, яка передбачає використання одних і тих же частот, що погіршує умови зв'язку. В статті наводяться розрахункові формули для визначення відношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції. Також наведені розрахунки, включаючи таблиці і рисунки, при різних характеристиках базових станцій (БС) мобільної мережі.

Ключові слова: мобільний зв'язок, плоский регулярний гексагональний стільник, мобільна станція, базова станція, співвідношення сигнал/завада, внутрішньосистемні завади, завадостійкість.

V.I. LUZHANSKY, L.V. KARPOVA, A.I. POVKH

Khmelnytskyi National University

INVESTIGATION OF SIGNAL DISTURBANCE OF THE SIGNAL AT THE INPUT OF THE MOBILE STATION RECEIVER WITH DIFFERENT CHARACTERISTICS OF BASE STATIONS IN THE CONDITIONS OF CITY BUILDING

The purpose of the scientific paper is to study the effects of internal system interference caused by the movement of a mobile station in the cell of the service area, which involves the use of the same frequencies, which worsens the communication conditions. The article provides calculation formulas for determining the signal-to-noise ratio at the input of the receiver of the mobile station. Calculations, including tables and figures, for different characteristics of base stations (BS) of the mobile network are also given. The analysis of literature sources shows insufficient depth of the conducted researches in directions for improving the noise immunity of the signal under different conditions in particular: city development, terrain, interference from other base stations.

The use of radio networks with moving objects makes it possible to repeatedly use the same dedicated frequency band to increase the speed of digital information transmission and economical use of the frequency range. This method has a significant disadvantage, which is the presence of mutual internal system interference between base and mobile stations that use the same frequency range.

The purpose of the scientific article is to study the noise immunity of the signal at the input of the receiver of the mobile station at different characteristics of the base stations in terms of urban development.

Keywords: mobile communication, flat regular hexagonal cell, mobile station, base station, signal/noise ratio, intra-system noise, noise immunity.

Вступ

Використання мереж радіозв'язку з рухомими об'єктами надає можливість багаторазово використовувати одну і ту ж виділену смугу частот для збільшення швидкості передачі цифрової інформації та економічного використання частотного діапазону. Цей метод має вагомий недолік, який полягає в наявності взаємних внутрішньосистемних завад між базовими та мобільними станціями, які використовують однаковий частотний діапазон.

Аналіз стану досліджень та публікацій.

Аналіз літературних джерел показує недостатню глибину проведених досліджень у напрямку покращення завадостійкості сигналу при різних умовах зокрема: забудова міста, рельєфу, завад від інших базових станцій ([1–4] та ін.).

Формування мети.

Метою наукової статті є дослідження завадостійкості сигналу на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в умовах забудови міста.

Результати дослідження.

Для проектування і подальшої побудови стільникових мереж рухомого радіозв'язку потрібно врахувати розмірність кластера K і радіус стільника R . Потім на карті міста викреслюють плоский регулярний гексагональний стільник, який покриває всю зону обслуговування мереж мобільного зв'язку [1].

Мобільна станція (МС) буде вільно переміщуватись по даній території обслуговування, внаслідок чого рівень внутрішньосистемних завад від базових станцій (БС) буде постійно змінюватись і буде змінюватись відношення сигнал/завада на вході приймача МС.

Розрахуємо відношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції, оскільки нам відомі характеристики базових станцій приймально-передавального обладнання, відстані від МС до передавача базової станції BC_0 та передавачів, які створюють завади $BC_1, BC_2, BC_3, BC_4, BC_5, BC_6$.

Можна використати афінну (косокутну) систему координат, яка буде доцільною для стільникової організації зони обслуговування.

При дослідженні завадової обстановки в певному стільнику потрібно використати косокутну систему координат, поєднавши його центр з початком косокутної системи координат з точкою O так, щоб осі координат Ox і Oy були перпендикулярні до суміжних сторін шестикутника. Відповідно між осями кут буде становити 60° . Топологія даної мережі продемонстрована на рис. 1.

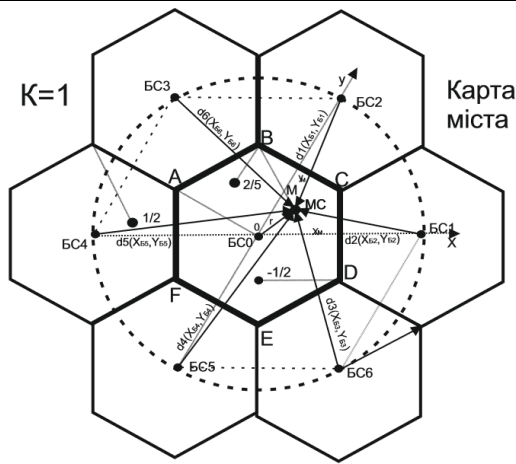


Рис. 1. Трасекторія руху мобільної станції по плоскому гексагональному стільнику

При використанні системи косокутних координат знайдемо відстань між точками $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$, використовуючи формулу (1):

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (x_A - x_B) \cdot (y_A - y_B) + (y_A - y_B)^2}. \quad (1)$$

Отже $\{x_M; y_M\}$ і $\{0; 0\}$ – координати MC і BC₀. Тоді відстань r між приймачем абонента і передавачем BC₀, що знаходиться в центральному стільнику при умові формули (1) буде виглядати:

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2}. \quad (2)$$

Окрім корисного сигналу станції BC₀ на вхід приймача MC будуть постійно надходити перешкоди від передавачів BC₁...BC₆, які розміщені відповідно у сусідніх від BC₀ кластерах (див. рис. 1). З цього випливає, що відстань між BC_i, які створюють перешкоди та приймачем абонента відповідно до формули (1) визначається за формулою:

$$d_i(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i}) = \sqrt{(x_M - x_{BC_i})^2 + (x_M - x_{BC_i}) \cdot (y_M - y_{BC_i}) + (y_M - y_{BC_i})^2} = \sqrt{K + r^2 - x_M(2x_{BC_i} + y_M(x_{BC_i} + 2y_{BC_i})), i = 1, \dots, 6, \quad (3)$$

де x_M, y_M – координати MC; r – відстань між MC і BC₀; K – розмірність кластера, буде визначатися за формулою (2); відповідно x_{BC_i}, y_{BC_i} – координати BC_i в нормованій косокутній системі координат. Доволі просто перевірити, що координати BC_i пов'язані з розмірністю K кластера відповідно за формулою:

$$K = x_{BC_i}^2 + x_{BC_i} y_{BC_i} + y_{BC_i}^2, i = 1, \dots, 6.$$

Координати джерел завад BC_i для різних значень кластера K представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Координати BC_i, які створюють завади MC на співпадаючих частотах

Базова станція	Координати BC _i							
	K=1		K=3		K=4		K=7	
	X _{BCi}	Y _{BCi}	X _{BCi}	Y _{BCi}	X _{BCi}	Y _{BCi}	X _{BCi}	Y _{BCi}
BC ₁	1	0	1	1	2	0	2	1
BC ₂	0	1	-1	2	0	2	-1	3
BC ₃	-1	1	-2	1	-2	2	-3	2
BC ₄	-1	0	-1	-1	-2	0	-2	-1
BC ₅	0	-1	1	2	0	-2	1	-3
BC ₆	1	-1	2	-1	2	-2	3	-2

Для побудови моделі стільникових мереж рухомого радіозв'язку потрібно визначити характер поширення радіохвиль в зоні обслуговування. На модель впливає рельєф місцевості, висота будівель, густота забудови міста та інші фактори. Відповідно при обчисленнях будемо використовувати відомі співвідношення для вільного простору, або двохвильового поширення радіохвиль.

Для розрахунку потужності сигналу використаємо формулу (4):

$$P_{прMC} = \alpha_0 \cdot r^{-n}, \quad (4)$$

де α_0 – коефіцієнт пропорційності, що залежить від технічних характеристик обладнання MC і BC₀, $\alpha_0 = P_{перBC_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$; $P_{перBC_0}$ – потужність на виході передавача BC₀; G_1, G_2 – коефіцієнти підсилення антен відповідно BC₀ і MC; h_1, h_2 – висоти антен відповідно BC₀ і MC; r – відстань між MC і BC₀, залежна

від координат МС; n - показник ослаблення сигналу, що враховує ослабленість траси.

Загасання радіохвиль в (4) буде: $n = 2$ - у вільному просторі; $n = 4$ - при поширенні над поверхнею землі. Отже, в формулі (4), що використовується у моделі Окамури-Хати, параметр мережі для типових значень теж близький до $n = 4$. Відповідно до цих значень вважатимемо, що умови поширення для сигналів і перешкод однакові і $n = 4$.

Використовуючи формулу (4) визначимо потужність внутрішньосистемних завад на вході приймача МС від i -тої БС:

$$P_{ПБi} = \alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i}), i = 1, \dots, 6, \quad (5)$$

де α_i виступає нормуючим коефіцієнтом для i -го напрямлення.

Отже, відношення сигнал/завада на вході приймача абонента записуємо як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{P_{npMC}(x_M)}{P_{ПБi}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \quad (6)$$

Використовуємо для підстановки формули (4) і (5) в (6). Це дасть нам можливість переписати вираз (6) у вигляді:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \quad (7)$$

При умові, що α_0 та α_i – коефіцієнти пропорційності, які залежать від технічних характеристик обладнання МС і БС₀ будуть однаковими між собою, тобто $\alpha_0 = \alpha_1 \dots \alpha_6$, то в даному випадку можна вираз (7) записати у вигляді:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_M)}{d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \quad (8)$$

Для розрахунків ми будемо використовувати дві координати які будуть відображати знаходження мобільної станції в точках М і В з їх координатами М(-1/4, 1/4) та В(1/2, -2/5), які продемонстровані на рисунку 1. Відповідно для кожної точки проведемо розрахунки по трьом варіантам. У першому варіанті з ідентичними характеристиками приймально-передавальних пристроїв, у другому варіанті використаємо БС₀ з найменшою висотою антени і найменшою потужністю, а у третьому використаємо БС₀ з найбільшою потужністю і найбільшою висотою антени. Розрахунки будуть проведені по технології CDMA.

Таблиця 2

Технічні характеристики варіанту 1

Базові станції	$P_{перБС}$, Вт	G_1 , дБ	G_2 , дБ	h_1 , м	h_2 , м
БС ₀ , БС ₁ ...БС ₆	12	5 (3.16 раз)	2 (1.58 раз)	28	1,7

Отже α_0 буде такого вигляду:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 13575.$$

Розрахуємо відстань r від точки М, де знаходиться МС до точки О, центру базової станції:

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2} = \sqrt{(-1/4)^2 + (-1/4) \cdot 1/4 + 1/4^2} = 0,353 \text{ км.}$$

Врахуємо завади від всіх шести сусідніх БС, як показано на рис. 1.

$$\begin{aligned} d_1(M, BC_1) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_1})^2 + (x_M - x_{BC_1}) \cdot (y_M - y_{BC_1}) + (y_M - y_{BC_1})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 1,145 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(M, BC_2) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_2})^2 + (x_M - x_{BC_2}) \cdot (y_M - y_{BC_2}) + (y_M - y_{BC_2})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + ((-1/4) - 0) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 0,901 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(M, BC_3) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_3})^2 + (x_M - x_{BC_3}) \cdot (y_M - y_{BC_3}) + (y_M - y_{BC_3})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 1,75 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_4(M, BC_4) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_4})^2 + (x_M - x_{BC_4}) \cdot (y_M - y_{BC_4}) + (y_M - y_{BC_4})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/4) - (-1))^2 + ((-1/4) - (-1)) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 0,901 \text{ км.} \\
 d_5(M, BC_5) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_5})^2 + (x_M - x_{BC_5}) \cdot (y_M - y_{BC_5}) + (y_M - y_{BC_5})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + ((-1/4) - 0) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,145 \text{ км.} \\
 d_6(M, BC_6) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_6})^2 + (x_M - x_{BC_6}) \cdot (y_M - y_{BC_6}) + (y_M - y_{BC_6})^2} = \\
 &= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,25 \text{ км.}
 \end{aligned}$$

Отже, відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\begin{aligned}
 \rho^2(x_M) &= \sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_M)}{d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \\
 &= \frac{(0,353)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,75)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 13,66
 \end{aligned}$$

Змінимо потужність та висоти сусідніх базових станцій, значення яких наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Технічні характеристики варіанту 2

Базові станції	$P_{\text{перБС}}, \text{Вт}$	$G_1, \text{дБ}$	$G_2, \text{дБ}$	$h_1, \text{м}$	$h_2, \text{м}$
БС ₀	12	5 (3,16 раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7
БС ₁	14			30	
БС ₂	16			30	
БС ₃	18			32	
БС ₄	20			26	
БС ₅	22			34	
БС ₆	24			35	

Тоді α_0 буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 3 дані для розрахунку інших коефіцієнтів.

$$\alpha_1 = P_{\text{перБС}_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 181800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{\text{перБС}_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 207800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{перБС}_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (32 \cdot 1,7)^2 = 265900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{перБС}_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (26 \cdot 1,7)^2 = 195100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{перБС}_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (34 \cdot 1,7)^2 = 333600 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{перБС}_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,7)^2 = 424200 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Також розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10,521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6,514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,353^{-4}}{1,75^{-4}} = 24,576.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6,514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10,521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,353^{-4}}{1,25^{-4}} = 12,539.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

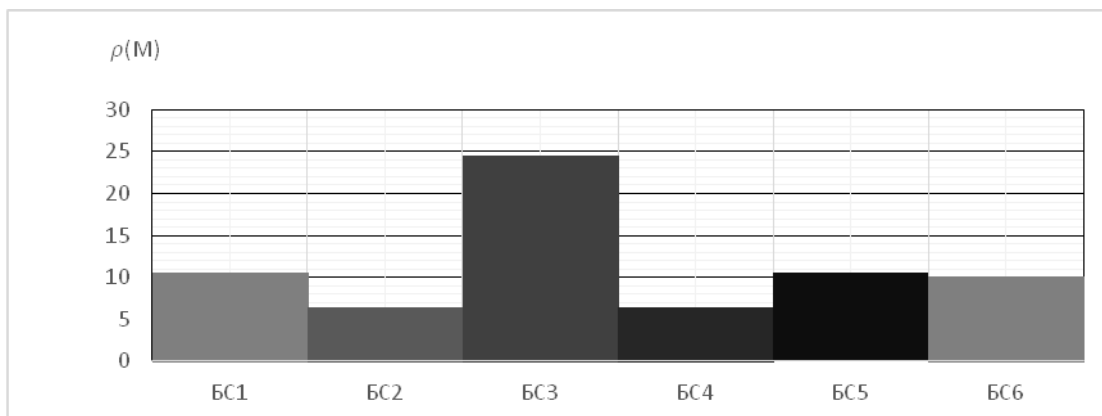
$$= \frac{135700 \cdot (0,353)^{-4}}{181800 \cdot (1,145)^{-4} + 207800 \cdot (0,901)^{-4} + 265900 \cdot (1,175)^{-4} + 195100 \cdot (0,901)^{-4} + 333600 \cdot (1,145)^{-4} + 424200 \cdot (1,25)^{-4}} = 7,849$$

Таблиця 3

Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	BC ₁	BC ₂	BC ₃	BC ₄	BC ₅	BC ₆
$\rho^2(x_M)$	10.521	6.514	24.576	6.514	10.521	12.539

По результатам обчислень таблиці [4] побудуємо графік, який представлений на рис. 2

Рис. 2. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від шести сусідніх (BC₁...BC₆)Розрахуємо співвідношення С/З на вході приймача МС для точки М від шести завад (BC₁... BC₆):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{(0,353)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,175)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 4,319.$$

Третій варіант з різними технічними характеристиками БС в залежності від забудови міста надано в таблиці 5.

Таблиця 5

Технічні характеристики варіанту 3

Базові станції	$P_{перБС}$, Вт	G_1 , дБ	G_2 , дБ	h_1 , м	h_2 , м
BC ₀	24	5 (3,16 раз)	2 (1,58 раз)	35	1,7
BC ₁	22			34	
BC ₂	20			26	
BC ₃	18			32	
BC ₄	16			30	
BC ₅	14			30	
BC ₆	12			28	

Тоді α_0 буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{пер}BC_0} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,7)^2 = 424200 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 5 дані для розрахунку коефіцієнтів $\alpha_1 \dots \alpha_6$:

$$\alpha_1 = P_{\text{пер}BC_1} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (34 \cdot 1,7)^2 = 363900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{\text{пер}BC_2} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (26 \cdot 1,7)^2 = 195100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{пер}BC_3} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (32 \cdot 1,7)^2 = 265900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{пер}BC_4} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 207800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{пер}BC_5} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 181800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{пер}BC_6} G_1, G_2, (h_1, h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Відношення С/З на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС з різними технічними характеристиками можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{424200 \cdot (0,353)^{-4}}{366900 \cdot (1,145)^{-4} + 195100 \cdot (0,901)^{-4} + 265900 \cdot (1,175)^{-4} + 207800 \cdot (0,901)^{-4} + 181800 \cdot (1,145)^{-4} + 135700 \cdot (1,25)^{-4}} = 26,928$$

Розрахуємо відстань r від точки В(-1/2, 2/5) до точки О(0;0), центру базової станції.

$$r = \sqrt{x_B^2 + x_B y_B + y_B^2} = \sqrt{(-1/3)^2 + (-1/3) \cdot 2/3 + 2/3^2} = 0,577 \text{ км}.$$

Враховуємо завади від шести сусідніх БС, а координати базових станцій представлені в таблиці 1.

$$d_1(B, BC_1) = \sqrt{(x_B - x_{BC_1})^2 + (x_B - x_{BC_1}) \cdot (y_B - y_{BC_1}) + (y_B - y_{BC_1})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \cdot (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = 1,155 \text{ км}.$$

$$d_2(B, BC_2) = \sqrt{(x_B - x_{BC_2})^2 + (x_B - x_{BC_2}) \cdot (y_B - y_{BC_2}) + (y_B - y_{BC_2})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \cdot (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = 0,577 \text{ км}.$$

$$d_3(B, BC_3) = \sqrt{(x_B - x_{BC_3})^2 + (x_B - x_{BC_3}) \cdot (y_B - y_{BC_3}) + (y_B - y_{BC_3})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \cdot (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = 0,577 \text{ км}.$$

$$d_4(B, BC_4) = \sqrt{(x_B - x_{BC_4})^2 + (x_B - x_{BC_4}) \cdot (y_B - y_{BC_4}) + (y_B - y_{BC_4})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \cdot (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = 1,155 \text{ км}.$$

$$d_5(B, BC_5) = \sqrt{(x_B - x_{BC_5})^2 + (x_B - x_{BC_5}) \cdot (y_B - y_{BC_5}) + (y_B - y_{BC_5})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \cdot (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = 1,528 \text{ км}.$$

$$d_6(B, BC_6) = \sqrt{(x_B - x_{BC_6})^2 + (x_B - x_{BC_6}) \cdot (y_B - y_{BC_6}) + (y_B - y_{BC_6})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \cdot (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = 1,528 \text{ км}.$$

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,577^{-4}}{1,155^{-4}} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,577^{-4}}{0,577^{-4}} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,577^{-4}}{0,577^{-4}} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,577^{-4}}{1,155^{-4}} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,577^{-4}}{1,528^{-4}} = 7,012.$$

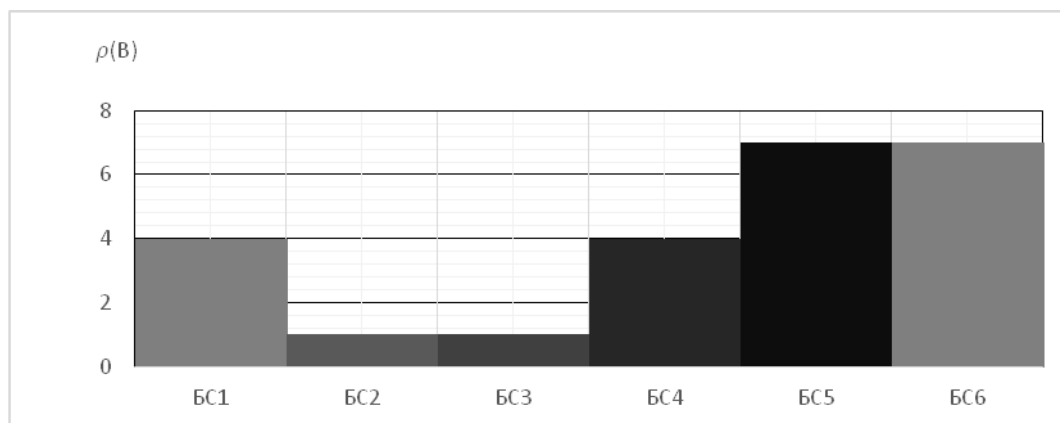
$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,577^{-4}}{1,528^{-4}} = 7,012.$$

Таблиця 6

Залежність співвідношення C/З на вході приймача МС для кожної базової станції окремо для точки В

Базові станції	BC ₁	BC ₂	BC ₃	BC ₄	BC ₅	BC ₆
$\rho^2(x_B)$	4	1	1	4	7,012	7,012

По результатам обчислень таблиці 6 побудуємо графік, який представлений на рис. 3.

Рис. 3. Співвідношення C/З на вході приймача МС від шести сусідніх (BC₁...BC₆)

При цьому C/З на вході приймача МС абонента в точці В від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (0,577)^{-4} + (0,577)^{-4} + (1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = 10,198.$$

Отже, для другого варіанту точки В технічні характеристики БС візьмемо з таблиці 3. Тоді, $\alpha_0, \alpha_1 \dots \alpha_6$ буде мати такий вигляд як і в другому варіанті.

Відстань r від точки В до точки О є однаковими з першим варіантом для точки М.

Відношення C/З на вході приймача МС в точці В від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{135700 \cdot (0,577)^{-4}}{181800 \cdot (1,155)^{-4} + 207800 \cdot (0,577)^{-4} + 265900 \cdot (0,577)^{-4} + 195100 \cdot (1,155)^{-4} + 333600 \cdot (1,528)^{-4} + 424200 \cdot (1,528)^{-4}} = 7,44.$$

Для третього варіанту точки В дані беремо з таблиці 4.

Відношення C/З на вході приймача МС в точці В від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{424200 \cdot (0,577)^{-4}}{366900 \cdot (1,155)^{-4} + 195100 \cdot (0,577)^{-4} + 265900 \cdot (0,577)^{-4} + 207800 \cdot (1,155)^{-4} + 181800 \cdot (1,528)^{-4} + 135700 \cdot (1,528)^{-4}} = 21,18.$$

Висновки

1. Відношення сигнал /завада на вході приймача мобільної станції в точках М та В вагомо залежить від кількості та характеристик базових станцій, координат розміщення МС у стільнику.

2. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завад функція $\rho^2(x_M)$ зменшується за рахунок того, що потужність передавача, коефіцієнт підсилення антени та висота БС₀ ділиться на суму потужностей передавачів, коефіцієнтів підсилення антен та висот сусідніх БС.

3. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС залежить від відстаней до БС₀, БС₁...БС₆ та їх технічних характеристик. Чим ближче знаходиться МС до БС₀, тим краще співвідношення сигнал/завада.

Так, для першого варіанту (МС знаходиться в точці М) $\rho^2(x_M) = 13,66$, а для точки В, $\rho^2(x_M) = 10,198$.

4. Співвідношення С/З на вході приймача МС для другого варіанту (МС знаходиться в точці М) $\rho^2(x_M) = 4,319$, а для третього варіанту $\rho^2(x_M) = 10,198$. Збільшення потужності передавача БС₀ по відношенню до потужностей передавачів БС₁...БС₆ покращує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику БС₀, але підвищує рівень внутрішньосистемних завад в сусідніх комірках БС₁...БС₆. Зменшення потужності передавача БС₀ по відношенню до потужностей передавачів БС₁...БС₆ погіршує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику БС₀ і підвищує рівень внутрішньосистемних завад в стільнику БС₀.

5. Для мінімізації внутрішньосистемних завад необхідно, щоб контролер базових станцій сумісно з центром комутації рухомого зв'язку створювали умови, за яких рівень потужностей всіх передавачів базових станцій був приблизно однаковим.

Література

1. Сукачов Е.А. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами : навч. посібник / Е.А. Сукачов. – [3-є вид, випр. і доп.]. – Одеса : ОНАЗ ім. А. С. Попова, 2013. – 256 с.
2. Маковеева М.М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами : навч. посібник для вузів / М.М. Маковеева, Ю.С. Шінаков. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. Смирнов Н.І. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні щільності їх розташування / Н.І. Смирнов, Ю.А. Караваєв, В.А. Сівов // Електросвязь. – 2001. – № 10. – С. 30–33.
4. Поспелова А.О. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Розвиток методів підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами / Поспелова А.О. – Редакційно-видавничий центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017. – 20 с.

References

1. Sukachov E.A. Stilnykovi merezhi radiozviazku z rukhomymy ob'ektamy : navch. posibnyk / E.A. Sukachov. – [3-e vyd, vypr. i dop.]. – Odesa : ONAZ im. A. S. Popova, 2013. – 256 s.
2. Makovieieva M.M. Systemy zviazku z rukhomymy ob'ektamy : navch. posibnyk dlia vuziv / M.M. Makovieieva, Yu.S. Shinakov. – M. : Radyo y sviaz, 2002. – 440 s.
3. Smyrnov N.I. Otsinka propusknoi spromozhnosti bazovykh stantsii system MDKR pry zmini shchilnosti yikh roztashuvannia / N.I. Smyrnov, Yu.A. Karavaiev, V.A. Sivov // Elektrosviaz. – 2001. – № 10. – S. 30–33.
4. Pospelova A.O. Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk. Rozvytok metodiv pidvyshchennia efektyvnosti stilnykovykh system radiozviazku z rukhomymy ob'ektamy / Pospelova A.O. – Redaktsiino-vydavnychy tsentr ONAZ im. O.S. Popova, 2017. – 20 s.

Надійшла/Paper received : 11.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

A.E. RUBANENKO, O.O. RUBANENKO, I.A. HUNKO, V.V. GASYCH
Vinnytsia National Technical University

DETERMINATION OF RESIDUAL RESOURCE OF MEASURING CURRENT TRANSFORMERS USING FUZZY SIMULATION

The article analyzes the damage of the main elements of current measuring transformers (CMT) and proposes a mathematical model of the residual life of CMT obtained by fuzzy modeling using Matlab software.

Key words: current transformer, residual resource, mathematical modeling, neural networks.

РУБАНЕНКО О.Є., РУБАНЕНКО О.О., ГУНЬКО І.О., ГАСИЧ В.В.
Vinnytsia National Technical University

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Розвиток промисловості в Україні в останні роки обумовлює збільшення споживання електричної енергії та, як наслідок, зростання навантаження на електроенергетичне обладнання. У той же час велика кількість вимірювальних трансформаторів, які є важливим обладнанням електроенергетики, експлуатуються з перевищенням призначеного ресурсу. Дійсно, парк вимірювальних трансформаторів в Україні на 50% – 60% складався з такого обладнання. І, незважаючи на постійне збільшення витрат, що виділяються на оновлення парку енергетичного обладнання, на сьогоднішній день істотно змінити цю ситуацію не вдалося. З іншого боку, багато фахівців відзначають, що замінювати трансформатор після закінчення його призначеного ресурсу найчастіше виявляється недоцільно. За минулі роки була проведена велика робота по створенню методів діагностики трансформаторного обладнання, що дозволяють при комплексному їх застосуванні адекватно оцінити технічний стан обстежуваного об'єкта з надійністю, що досягає 98%.

Однак, незважаючи на це, кількість трансформаторів, "допрацьовують" до відмов через термохімічне старіння твердої ізоляції, складає за різними джерелами від 7% до 20%, тобто причиною відмови від 80% до 93% трансформаторів є різні своєчасно не виявлені дефекти. Дана ситуація обумовлена низькою ефективністю традиційної схеми діагностики. Отже, дослідження та розробка сучасних системи діагностування високовольтного обладнання є актуальною задачею.

Так, зокрема, в статті досліджено можливість використання методів нейро-нечіткого моделювання в задачі визначення коефіцієнту загального залишкового ресурсу вимірювальних трансформаторів струму в умовах неповноти початкових даних.

Ключові слова: вимірювальний трансформатор струму, залишковий ресурс, математичне моделювання, нейронні мережі.

Introduction

A sign of today is the transition from centralized to decentralized electricity supply. In particular, in recent years there has been a noticeable tendency to increase the installed capacity of generating power plants running on renewable energy sources [1–5]. Such stations are installed in electrical distribution networks designed under the conditions of centralized power supply [6–10]. In turn, a number of scientific works of domestic scientists have shown that such stations can affect the quality of electricity and be one of the reasons for their failure [11]. For example, as the frequency increases, the current in the winding will decrease, so the appearance of low-frequency harmonics in the current at the voltage of the transformer (less than 50 Hz) can lead to an increase in current that significantly exceeds the maximum allowable limits (under certain conditions) can damage the transformer winding [11–13]. The current control systems of current measuring transformers (CMT) use known mathematical models of CMT in their calculations, but these models have a significant disadvantage - they cannot determine and take into account the functional relationships between many of their controlled diagnostic parameters simultaneously, in one mathematical model. The problem is complicated by the incompleteness of the initial data, when some of the parameters are known at the time of calculation, for example, due to the need for additional research. Fuzzy modeling is a very constructive technology for establishing such connections. This modeling allows to obtain more reliable results compared to the results of existing diagnostic systems. If as a result of the analysis of the data provided by representatives of shop of repair of CMT, from literature sources or according to isolation service, etc. the information on some reasons of removal in repair of high-voltage oil-filled (with paper-oil isolation of condenser type) CMT will be collected, such data can be arranged, for example, as shown in table 1 for CMT 35 kV [14–17].

1Determination of the total residual life of the current transformer

The results of comprehensive studies of the damage of current transformers are shown in Table 1. In Table 1, under the controlled diagnostic parameter we understand the parameter, the deviation of which from the norm contributed to the removal of CMT for repair or was taken into account when removing CMT for repair. As diagnostic parameters in table 1 are given: parameters that characterize the state of the paper-oil insulation, the state of the parts of the PTS, which are responsible for sealing the CMT, the state of the pressure compensator.

Parameters that characterize the state of paper-oil insulation [13]: W - moisture content in transformer oil CMT, C_x - capacity of paper-oil insulation, R - active resistance of paper-oil insulation, $\operatorname{tg}(\delta)$ - tangent of the dielectric loss angle in paper -oil insulation, P_1 - a constant decrease in pressure in the CMT, which is due to the presence of places leakage of transformer oil, P_2 - fluctuations in the pressure in the CMT when the ambient

temperature changes, which are due to damage to the bellows CMT, T_1 - increase in excess temperature in the upper part of the CMT due to the defect of the coupling unit of the pressure compensator, T_2 - increase in temperature in the area of the measuring terminal, T_3 - total heating of the inlet tire, for example, due to deterioration of insulation parameters of the CMT, T_4 with typesetting upper tires, due to disturbances in the circulation of transformer oil in the CMT, CADG (chromatographic analysis of gases dissolved in oil) - excessive change in the content of dissolved gases in the transformer oil CMT or excessive change in the ratio of dissolved in the transformer oil CMT gases. After analyzing the data in Table 1 and the literature, we created a diagram that shows the dependent or independent influence of diagnostic parameters on the coefficient of the total residual resource of the CMT (Fig. 1) [18–20].

With the help of computer mathematics - MATLAB system it is possible to create a mathematical model of the residual life factor of the current transformer, using which to edit the previously created probabilistic sample of educational data which can further obtain an analytical dependence of the residual life factor of the current transformer on diagnostic parameters in the form of polynomial.

The coefficient of residual resource k_{il} on the i -th diagnostic parameters:

$$k_{il} = \frac{x_{il,lim} - x_{il,cur}}{x_{il,lim} - x_{il,initial}}.$$

where $x_{il,lim}$ - the limit normative value of the il th diagnostic parameter, $x_{il,cur}$ - the value of the il th diagnostic parameter at the time of control, $x_{il,initial}$ - the initial value of the il th diagnostic parameter (at the time of commissioning of new equipment or after repair), il - diagnostic parameter.

Table 1

Reasons for the conclusion of the repair of transformers

CMT element	Diagnostic parameter		Number of repaired CMT that have an excess value of the diagnostic parameter	
	Designation	The name of the parameter	units	%
Paper and oil insulation	C_X	capacity of paper and oil insulation	2	1
	W	moisture content	8	5
	R	active insulation resistance of primary and secondary CMT windings	2	1
	$tg(\delta)$	the tangent of the dielectric loss angle in the paper-oil insulation	14	10
	T_3	heating of the CMT tire near the hardware inputs	3	1
Transformer oil	$CADG$	according to the results of chemical analysis of gases dissolved in transformer oil	32	15
Hardware input	T_1	increase in excess temperature in the contact part of the CMT input due to a contact defect in the hardware input	5	5
Porcelain tires	P_1	constant decrease of pressure in CMT which is caused by leakage of transformer oil	65	55
	P_2	fluctuations in the value of the pressure in the CMT when the temperature changes (daily pressure fluctuations in the CMT, etc.) of the environment, which are due to damage to the bellows of the CMT	3	3
	T_4	heating of the upper part of the tire (above the connection) in the CMT, due to disturbances in the circulation of transformer oil in the CMT	3	1
Pins of a terminal knot of secondary windings	T_2	temperature rise in the area of the terminal node (outputs of the secondary windings)	3	3
Total			140	100

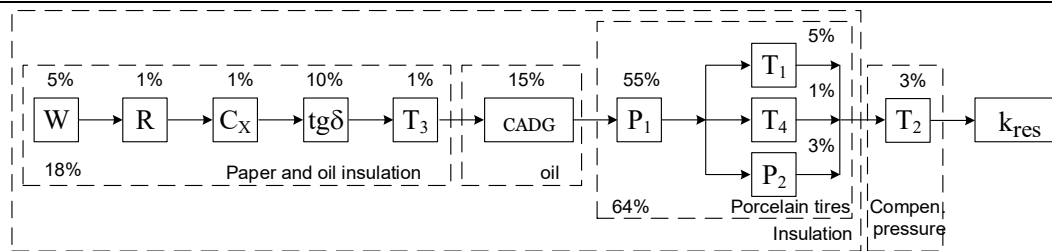


Fig. 1. Block diagram of the model of the coefficient of the residual resource of CMT

The probability of deviations of the controlled parameter from the maximum allowable normalized value of this parameter:

$$p_{\tau} = \frac{y_{\tau}}{m_2},$$

where y_{τ} - the number of deviations of the controlled parameter from the maximum allowable normalized value of this parameter, which were detected by the control τ -th diagnostic, m_2 - the total number of detected deviations of the controlled diagnostic parameters from their maximum allowable normalized values.

Therefore, the coefficient of the total residual resource of the CMT is determined by the expression:

$$k_{tot.res} = k_W^{p_W} \cdot k_R^{p_R} \cdot k_{CX}^{p_{CX}} \cdot k_{tg(\delta)}^{p_{tg(\delta)}} \cdot k_{T3}^{p_{T3}} \cdot k_{CADG}^{p_{CADG}} \cdot k_{P1}^{p_{P1}} \cdot \left\{ 1 - \left[(1 - k_{T1}) \cdot p_{par.p.T1} + (1 - k_{T4}) \cdot p_{par.p.T4} + (1 - k_{P2}) \cdot p_{par.p.P2} \right] \right\}^{p_{tot.p.T1,T4,P2}} \cdot k_{T2}^{p_{T2}} \quad (1)$$

where $k_W, k_R, k_{CX}, k_{tg(\delta)}, k_{T3}, k_{CADG}, k_{P1}, k_{T2}, k_{T1}, k_{T4}, k_{P2}$ - known at the time of calculation of the values of the coefficients of the residual resource, respectively, by parameters $W, R, C_X, tg(\delta), T_3, CADG, P_1, T_2, T_1, T_4, P_2$; $p_W, p_R, p_{CX}, p_{tg(\delta)}, p_{T3}, p_{CADG}, p_{P1}, p_{T2}$ - probability of deviations of values of diagnostic parameters from maximum admissible normalized values taking into account the total number of deviations of all diagnostic parameters; $p_{par.p.T1}, p_{par.p.T2}, p_{par.p.P2}$ - probabilities of deviations of values of diagnostic parameters from maximum admissible normalized values taking into account the total number of deviations of diagnostic parameters of only a parallel part of the scheme; $p_{total.p.T1,T4,P2}$ - the probability of deviation of the values of diagnostic parameters from the maximum allowable normalized values for the generalized (parallel part of the scheme) block (in the sequential part of the scheme) taking into account the total number of deviations of diagnostic parameters. Yes, according to table. 2: $p_R=0,05$ r.u., $p_{CX}=0,01$ r.u., $p_{tg(\delta)}=0,1$ r.u., $p_{T3}=0,01$ r.u., $p_{CADG}=0,15$ r.u., $p_{P1}=0,55$ r.u., $p_{T2}=0,03$ r.u., $p_{T1}=0,05$ r.u., $p_{T4}=0,01$ r.u., $p_{P2}=0,03$ r.u., $p_{par.p.T1} = p_{T1}/(p_{T1}+p_{T2}+p_{P2}) = 0,55$ r.u., $p_{par.p.T4} = p_{T4}/(p_{T1}+p_{T2}+p_{P2}) = 0,11$ r.u., $p_{par.p.P2} = p_{P2}/(p_{T1}+p_{T2}+p_{P2}) = 0,33$ r.u., $p_{total.p.T1,T4,P2} = p_{T1}+p_{T2}+p_{P2}=0,09$ r.u.

The theory of fuzzy sets was created a long time ago, but it began to be actively applied in our time. Its advantages are that it operates with fuzzy inputs, the connections between which are not known in advance, their accuracy and veracity are not always known. Part of the calculation results are shown in table 2.

Table 2

The results of calculations of the coefficient of residual resource of the CMT

Diagnostic parameter											Coefficient of residual resource of the CMT
k_W , r.u.	k_R , r.u.	k_{CX} , r.u.	$k_{tg(\delta)}$, r.u.	k_{T3} , r.u.	k_{CADG} , r.u.	k_{P1} , r.u.	k_{T2} , r.u.	k_{T1} , r.u.	k_{T4} , r.u.	k_{P2} , r.u.	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
...
0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,930063
1	1	1	1	1	0,07	0,93	1	1	1	1	0,644808
...
0,2	0,5	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,2	0,4	0,3	0,8	0,446311
0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,3	0,4	0,6	0,492952
...
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,92	0,08	0,924798

The full table contains 3012 combinations of the options considered diagnostic parameters and corresponding values of total residual life of MTC data were used as training data in modeling system of computer mathematics MATLAB. The Fuzzy Logic Toolbox was used for this purpose. Using the ANFIS Editor. The structure of the obtained neural network using the method of subclustering is shown in Fig. 2.

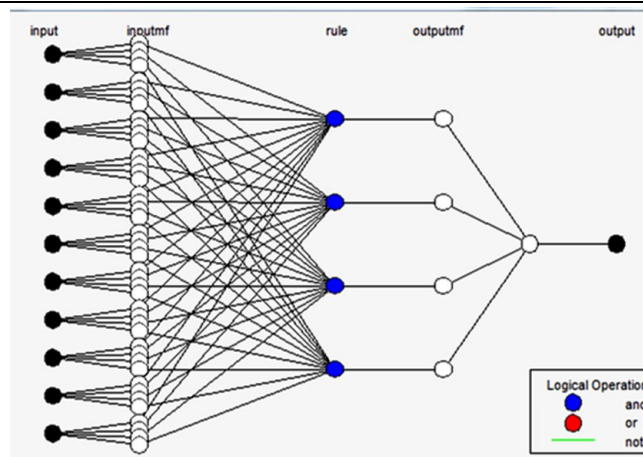


Fig. 2. Structure of Anfis-network of the CMT

From fig. 2 shows that during the formation of the structure of the neuro-fuzzy CMT model, eleven inputs and one output of this model were specified. Each of the eleven entrances has four terms. That is, each set of possible values of input parameters of the model is conventionally divided into four subsets: "normal" values of the input parameter, "slight deviations" of the input parameter, "pre-emergency" values of the input parameter, "emergency" values of the input parameter. The degree to which each value of the input parameter belongs to the set of values corresponding to this parameter is determined by the Gaussian membership function. The model is designed to find the numerical value of the coefficient of the total residual resource of the CMT, so it has one output. This numerical value is found by solving a linear equation that describes the dependence of the coefficient of the total residual resource of the CMT on the input parameters.

Next we teach the model. Training involves 30 epochs. A sign of termination of training is the invariance of the root mean square error of training. The standard error of training, which lasted 30 epochs, is equal to 0.011 r.u. The obtained neuro-fuzzy model allows to determine the value of the coefficient of the total residual resource of the CMT depending on the values of the input parameters - the coefficients of residual resources for each of the controlled diagnostic parameters. Thus, if each of the coefficients of the residual life of the diagnostic parameters will be equal to 0.5 r.u., the coefficient of the total residual resource is equal to 0.64 r.u., if each of the coefficients of the residual life of the diagnostic parameters will be equal to 1 r.u., then the coefficient of the total residual resource is equal to 1.01 r.u. The complexity of the dependences of the output parameter of the developed model on the set of input parameters is confirmed by the graphs of the surfaces of these dependences, which are shown in Fig. 3, 4.

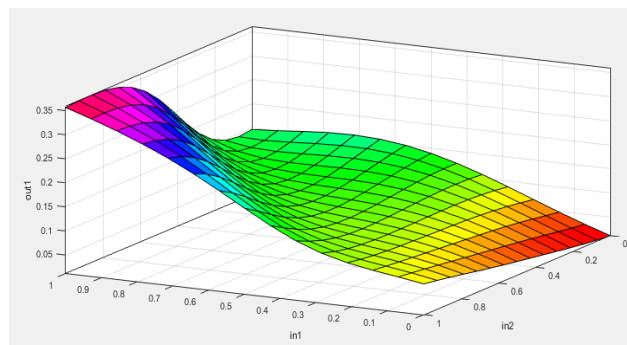


Fig. 3. Dependence of the residual resource of CMT on k_w and k_R

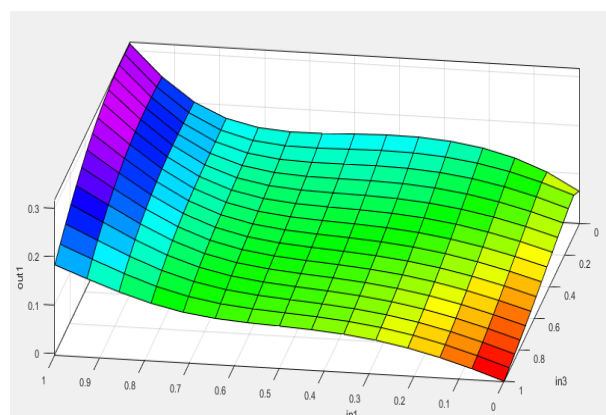


Fig. 4. Dependence of the residual resource of CMT on k_w and k_{CADG}

Conclusions

Despite the complexity of the dependencies, which are shown in Fig. 3, 4 mathematical model of the coefficient of residual resource CMT can be used to program a fuzzy controller in order to create a device for rapid determination of the state of CMT by analyzing the value of the coefficient of residual CMT.

Література

1. Рубаненко О. Є. Оперативне діагностування високовольтних вимірювальних трансформаторів струму / О. Є. Рубаненко // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХП». – 2016. – № 18 (1190). – С. 107–112. – DOI:10.20998/2413-4295.2016.18.16.
2. Рубаненко О. О. Аналіз нестабільності негарантованих джерел енергії в електричних мережах / О.О. Рубаненко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 5. – С. 226–230.
3. Cosovic M., Rubanenko O., and Gundebommu S. L., "Analysis of the distributed power generation with focus on power plant technical conditions," in 2021 20th International Symposium INFOTEH-IAHORINA (INFOTEH), 2021, pp. 1–6.
4. Sree Lakshmi G., Rubanenko Olena, Hunko Iryna. Renewable Energy Generation and Impacts on E-Mobility. Journal of Physics: Conference Series. 2020. P. 1–5. DOI:10.1088/1742-6596/1457/1/012009
5. Rubanenko O. and Yanovych V., "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 128–133.
6. Lezhnuk P. Optimal management of small hydroelectric plants power generation in local electrical systems // Petro Lezhnuk, Iryna Hunko, Olexander Rubanenko / DSMIE 2018: Advances in Design, Simulation and Manufacturing – P. 289–298. – ISBN 978-3-319-93587-4. – DOI: 10.1007/978-3-319-93587-4_30
7. Gundebommu S. L., Rubanenko O., and Cosovic M., "Determination of Normative Value Power Losses in Distribution power grids with Renewable Energy Sources using Criterion Method," in 2020 19th International Symposium INFOTEH-IAHORINA (INFOTEH), 2020, pp. 1–6.
8. G. S. Lakshmi, O. Rubanenko, G. Divya, and V. Lavanya, "Distribution Energy Generation using Renewable Energy Sources," in 2020 IEEE India Council International Subsections Conference (INDISCON), 2020, pp. 108–113.
9. S. L. Gundebommu, O. Rubanenko, and I. Hunko, "Analysis of Three-level Diode Clamped Inverter for Grid-connected Renewable Energy Sources," in 2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), 2019, pp. 1–6.
10. G. S. Lakshmi, O. Rubanenko, and I. Hunko, "Control of the Sectioned Electrical Network Modes with Renewable Energy Sources," in 2021 International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET), 2021, pp. 1–6.
11. S. L. Gundebommu, I. Hunko, O. Rubanenko, and V. Kuchanskyy, "Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 190–194.
12. Rubanenko O., Grishchuk M., Rubanenko O. Planning of the experiment for the defining of the technical state of the transformer by using amplitude-frequency characteristic. Przegląd Elektrotechniczny. 2020. R. 96, nr 3. P. 119–124. DOI: 10.15199/48.2020.03. (Scopus, Web of Science). URL: <http://pe.org.pl/articles/2020/3/27.pdf>
13. H. Hashemi-Dezaki, O. Rubanenko, M. Hryshchuk, and O. Rubanenko, "Optimal techno-economic sequence-based set of diagnostic tests for distribution transformers using genetic algorithm," Periodica polytechnica Electrical engineering and computer science, Article vol. 64, no. 4, pp. 406–411, 2020. (Scopus)
14. Гришук М. Планування технічного обслуговування силових трансформаторів за результатами контролю їх частотних характеристик / М. Гришук, О. Рубаненко, О. Рубаненко // Світлотехніка та Електроенергетика. – 2020. – № 3(56). – С. 92–98.
15. G. S. Lakshmi, R. Oleksandr, R. Olena, and H. Iryna, "Research processes of oil and paper insulation of high-voltage equipment during operation," AIP Conference Proceedings, vol. 2269, no. 1, p. 030021, 2020/10/12 2020.
16. Tygai, Y.I. & Besarab, A.B. "The mathematical model of voltage transformers for the study of ferroresonant processes," 2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Kiev, 2014, pp. 77–80, DOI: 10.1109/IEPS.2014.6874207.
17. Бесараб О. Б. Моделирование ферорезонансного процесса в трансформаторе напруги прямым методом / О. Б. Бесараб, Ю. І. Тугай // Праці Інституту електродинаміки НАН України : зб. наук. пр. – 2011. – Вип. 30. – С. 87–90.
18. Тугай Ю. І. Аналіз умов виникнення ферорезонансних процесів в електричних мережах / Ю. І. Тугай // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. – Львів : НУ «Львівська Політехніка». – 2007. – Вип. 596. – С. 132–136.
19. Кузнецов В.Г. Моделирование трансформатора напруги при ферорезонансних процесах / В.Г. Кузнецов, І.Ю. Тугай // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська Політехніка". – 2007. – № 596. – С. 127–131.
20. Тугай Ю. І. Модель електромагнітного трансформатора напруги для дослідження ферорезонансних процесів / Ю. І. Тугай, О. Б. Бесараб // Наукові праці Вінницького національного

References

1. Rubanenko O. Ye. Operativne diahnostuvannya vysokovoltnykh vymiriuvalnykh transformatoriv strumu / O. Ye. Rubanenko // Visnyk NTU «KhPI», Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – Kharkiv : NTU «KhPI». – 2016. – № 18 (1190). – S. 107–112. – DOI:10.20998/2413-4295.2016.18.16.
2. Rubanenko O. O. Analiz nestabilnosti neharantovanykh dzhерel enerhii v elektrychnykh mrezhakh / O.O. Rubanenko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2020. – № 5. – S. 226–230.
3. Cosovic M., Rubanenko O., and Gundebommu S. L., "Analysis of the distributed power generation with focus on power plant technical conditions," in 2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2021, pp. 1–6.
4. Sree Lakshmi G., Rubanenko Olena, Hunko Iryna. Renewable Energy Generation and Impacts on E-Mobility. Journal of Physics: Conference Series. 2020. P. 1–5. DOI:10.1088/1742-6596/1457/1/012009
5. Rubanenko O. and Yanovych V., "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 128–133.
6. Lezhnuk P. Optimal management of small hydroelectric plants power generation in local electrical systems // Petro Lezhnuk, Iryna Hunko, Olexander Rubanenko / DSMIE 2018: Advances in Design, Simulation and Manufacturing – P. 289–298. – ISBN 978-3-319-93587-4. – DOI: 10.1007/978-3-319-93587-4_30
7. Gundebommu S. L., Rubanenko O., and Cosovic M., "Determination of Normative Value Power Losses in Distribution power grids with Renewable Energy Sources using Criterion Method," in 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2020, pp. 1–6.
8. G. S. Lakshmi, O. Rubanenko, G. Divya, and V. Lavanya, "Distribution Energy Generation using Renewable Energy Sources," in 2020 IEEE India Council International Subsections Conference (INDISCON), 2020, pp. 108–113.
9. S. L. Gundebommu, O. Rubanenko, and I. Hunko, "Analysis of Three-level Diode Clamped Inverter for Grid-connected Renewable Energy Sources," in 2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), 2019, pp. 1–6.
10. G. S. Lakshmi, O. Rubanenko, and I. Hunko, "Control of the Sectioned Electrical Network Modes with Renewable Energy Sources," in 2021 International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET), 2021, pp. 1–6.
11. S. L. Gundebommu, I. Hunko, O. Rubanenko, and V. Kuchanskyy, "Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 190–194.
12. Rubanenko O., Grishchuk M., Rubanenko O. Planning of the experiment for the defining of the technical state of the transformer by using amplitude-frequency characteristic. Przegląd Elektrotechniczny. 2020. R. 96, nr 3. P. 119–124. DOI: 10.15199/48.2020.03. (Scopus, Web of Science). URL: <http://pe.org.pl/articles/2020/3/27.pdf>
13. H. Hashemi-Dezaki, O. Rubanenko, M. Hryshchuk, and O. Rubanenko, "Optimal techno-economic sequence-based set of diagnostic tests for distribution transformers using genetic algorithm," Periodica polytechnica Electrical engineering and computer science, Article vol. 64, no. 4, pp. 406–411, 2020. (Scopus)
14. Hryshchuk M. Planuvannya tekhnichnoho obsluhovuvannya sylovykh transformatoriv za rezultaty kontroliu yikh chastotnykh kharakterystyk / M. Hryshchuk, O. Rubanenko, O. Rubanenko // Svitlotekhnika ta Elektroenerhetyka. – 2020. – № 3(56). – S. 92–98.
15. G. S. Lakshmi, R. Oleksandr, R. Olena, and H. Iryna, "Research processes of oil and paper insulation of high-voltage equipment during operation," AIP Conference Proceedings, vol. 2269, no. 1, p. 030021, 2020/10/12 2020.
16. Tygai, Y.I. & Besarab, A.B. "The mathematical model of voltage transformers for the study of ferroresonant processes," 2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Kiev, 2014, pp. 77–80, DOI: 10.1109/IEPS.2014.6874207.
17. Besarab O. B. Modeliuvannya ferorezonansnoho protsesu v transformatori napruhy priamym metodom / O. B. Besarab, Yu. I. Tuhai // Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy : pb. nauk. pr. – 2011. – Vyp. 30. – S. 87–90.
18. Tuhai Yu. I. Analiz umov vynykennia ferorezonansnykh protsesiv v elektrychnykh mrezhakh / Yu. I. Tuhai // Visn. Nats. un-tu «Lvivska politehnika». Elektroenerhetychni ta elektromekhanichni systemy. – Lviv : NU «Lvivska Politehnika». – 2007. – Vyp. 596. – S. 132–136.
19. Kuznetsov V.H. Modeliuvannya transformatora napruhy pry ferorezonansnykh protsesakh / V.H. Kuznetsov, I.Iu. Tuhai // Visn. Nats. un-tu "Lvivska Politehnika". – 2007. – № 596. – S. 127–131.
20. Tuhai Yu. I. Model elektromagnitnoho transformatora napruhy dlia doslidzhennia ferorezonansnykh protsesiv / Yu. I. Tuhai, O. B. Besarab // Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – 2014. – № 4.

A.E. RUBANENKO**O.O. RUBANENKO****I.A. HUNKO****V.V. GASYCH**

ORCID ID: 0000-0003-2868-4056

iryna_hunko@ukr.net

Надійшла/Paper received : 17.04.2021 p.

Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

О.О. РУБАНЕНКО, І.О. ГУНЬКО, В.В. ГАСИЧ, Д.О. ГРЕСЬКОВ

Вінницький національний технічний університет

В.А. ПРЯДКО

Поліський національний університет

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В наш час спостерігається збільшення встановленої потужності сонячної (переважно) і вітрової енергетики, яка вимагає залучення додаткових балансуєчих резервів та потребує вдосконалення існуючих та розробки нових способів балансування. Якщо на кінець 2018 р. сумарна потужність СЕС і ВЕС становила 1.7 ГВт (без урахування окупованих територій), то на кінець 2020 року вона зросла до 8 ГВт (з урахуванням СЕС домогосподарств). Таким чином, позначилося одночасний вплив двох підсилюючих один одного факторів – зниження доступних обсягів регулювання на ТЕС і збільшення потреби маневреного генерування через підвищення нерівномірності добового графіка споживання і зростання обсягів стохастичного генерування з ВДЕ, а саме станцій негарантованої потужності – СЕС і ВЕС. У підсумку, це створило проблему дефіциту маневреного генерування і призвело до необхідності будівництва нових високоманеврових потужностей, наприклад з використанням водневих технологій. Тому у статті проаналізовано проблеми електроенергетики, які можна вирішити шляхом використання водневих технологій. Досліджено передумови виникнення цих проблем та запропоновано шляхи їх подолання. Багато розвинутих країн світу, таких США, Китай мають позитивний досвід використання водневих технологій як джерела електроенергії. В Україні прийнята Дорожня карта розвитку водневої енергетики на період до 2035 року щодо забезпечення використання водню у якості екологічно чистого енергоносія. Тому в статті детально розглянуто способи отримання водневого палива. Різноманітність способів отримання водню є одним з головних переваг водневої енергетики, так як підвищує енергетичну безпеку і знижує залежність від окремих видів сировини. До них відносяться парова конверсія метану і природного газу, газифікація вугілля, електроліз води, піроліз, часткове окислення, біотехнології. В статті запропоновано принципову схему комбінованої енергоустановки невеликої потужності, що містить батарею паливних елементів, вітрогенератор, електролізер, ресивер. Така установка може бути використана в якості автономного джерела енергопостачання.

Ключові слова: водневі технології, негарантовані джерела енергії, маневрене генерування.

OLENA RUBANENKO, IRYNA HUNKO,
VLADYSLAV HASYCH, DMYTRO HRESKOV
Vinnytsia National Technical University
VOLODYMYR PRIADKO
Poliskiy National University

ANALYSIS OF THE USE OF PROJECT MANAGEMENT TOOLS BY UKRAINIAN COMPANIES

Nowadays, there is an increase in the installed capacity of solar (mainly) and wind energy, which requires additional balancing reserves and requires the improvement of existing and development of new balancing methods. If at the end of 2018 the total capacity of PV and WPP was 1.7 GW (excluding the occupied territories), then at the end of 2020 it increased to 8 GW (including PV of households).

Thus, the simultaneous influence of two reinforcing factors affected - a decrease in available control volumes at TPPs and an increase in the need for shunting generation due to increasing uneven daily consumption schedule and increasing volumes of stochastic generation from RES, namely unsecured power stations - PV and WPP. As a result, this created a problem of shortage of shunting generation and led to the need to build new high-shunting capacity, such as using hydrogen technology. Therefore, the article analyzes the problems of electricity that can be solved through the use of hydrogen technologies. The preconditions of occurrence of these problems are investigated and the ways of their overcoming are offered. Many developed countries, such as the United States and China, have a positive experience of using hydrogen technology as a source of electricity.

Ukraine has adopted a Roadmap for the development of hydrogen energy for the period up to 2035 to ensure the use of hydrogen as an environmentally friendly energy source. Therefore, the article discusses in detail the methods of obtaining hydrogen fuel. The variety of methods for producing hydrogen is one of the main advantages of hydrogen energy, as it increases energy security and reduces dependence on certain types of raw materials. These include: steam conversion of methane and natural gas, coal gasification, water electrolysis, pyrolysis, partial oxidation, biotechnology. The article proposes a schematic diagram of a combined power plant of low power, containing a battery of fuel cells, wind turbine, cell, receiver. This installation can be used as an autonomous power source.

Keywords: hydrogen technologies; non-guaranteed energy sources, shunting generation.

Вступ

В [1] зазначено, що українська енергосистема проектувалася і будувалася як складова частина єдиної енергосистеми колишнього СРСР і була орієнтована на забезпечення надійного електропостачання переважно промисловості, яка споживала основну частину електроенергії [2]. Електропостачання забезпечувалося великими вузловими електростанціями (в основному ТЕС і АЕС) і повітряними ЛЕП високого класу напруги (до 750 кВ). З тих пір характеристики традиційного генерування, а також топологія мережі істотних змін не зазнали, однак значно змінилися потреби об'єднаної енергосистеми України. В [1] зазначено основні зміни до яких можна віднести зменшення обсягу споживання електроенергії (у порівнянні з 1990 р. – майже вдвічі, з 227 до 119 млрд кВт·год, а також. Як наслідок, значно знизилася частка напівпікової теплової генерації (з 71% у 1990 році до 35% в 2020 р.), яка давала енергосистемі основну гнучкість. У той же час зросла частка атомної генерації, яка працює в базовому режимі (з 25% до 51%).

Змінилася структура споживання електроенергії. Зокрема, зменшилось споживання промисловістю, яка має стабільний графік навантаження: з 146 млрд кВт·год (64%) до 49 млрд кВт·год (42%). При цьому значно зріс попит на електроенергію населенням, профіль споживання якого характеризується значною добовою нерівномірністю і чутливістю до дії метеорологічних факторів: з 21 млрд кВт·год (9%) до 37 млрд кВт·год (31%). Стрімко збільшилася встановлена потужність сонячної (переважно) і вітрової енергетики [3–6], яка вимагає залучення додаткових балансуєчих резервів. Якщо на кінець 2018 р сумарна потужність СЕС і ВЕС становила 1.7 ГВт (без урахування окупованих територій), то на кінець 2020 року вона зросла до 8 ГВт (з урахуванням СЕС домогосподарств).

Таким чином, позначилося одночасний вплив двох підсилюючих один одного факторів - зниження доступних обсягів регулювання на ТЕС і збільшення потреби в маневреній генерації через підвищення нерівномірності добового графіка споживання і зростання змінної генерації з ВДЕ, а саме станцій негарантованої потужності – СЕС і ВЕС [4, 7]. У підсумку, це створило проблему дефіциту маневреного генерування і призвело до необхідності будівництва нових високоманеврових потужностей. Тому метою роботи є дослідження можливості використання водневих технологій для компенсації нестабільності генерування негарантованими джерелами енергії.

1. Використання водневих технологій для компенсаційної нестабільності негарантованих електростанцій

Багато розвинутих країн світу, таких США, Китай почали активно використовувати водень як джерело електроенергії [8]. Водневі технології ефективно використовують не тільки в електроенергетиці, а й в транспорті та для теплоенергетики [9]. Багато досліджень присвячено розробкам установок та технологій отримання та зберігання водню [10–12] та особливостей їх інтегрування в ЕЕС з ВДЕ [4, 13, 14]. Зокрема в [15] зазначено, основні передумови використання водневих технологій, що в перспективі може допомогти розв'язати проблеми електроенергетичної галузі в цілому (рис. 1).

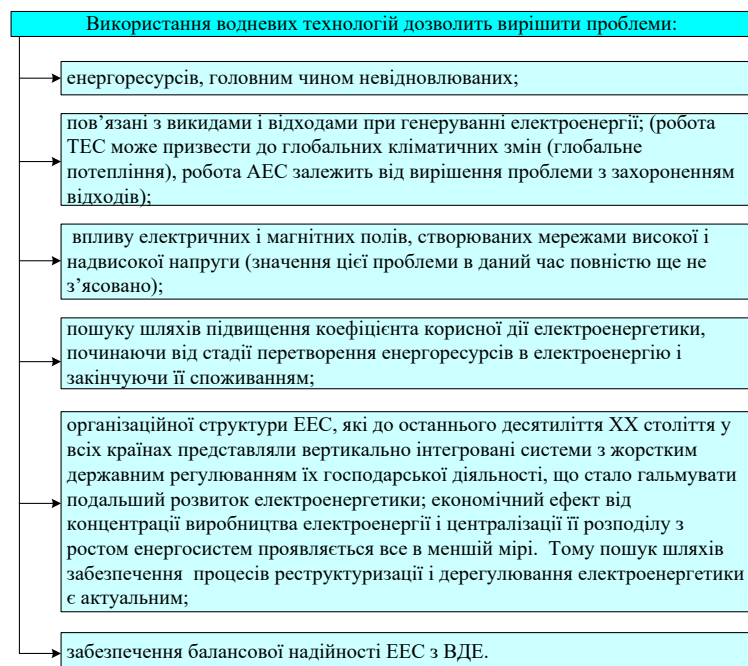


Рис. 1. Проблеми електроенергетики які можна вирішити шляхом використання водневих технологій [15]

До вирішення цих проблем є багато підходів. В першу чергу це розвиток ВДЕ, таких як вітро-, сонячна - і гідроенергетика, а також атомної енергетики. Однак оскільки ці джерела повинні бути прив'язані до конкретної місцевості і розосереджені на цих територіях, то вони не дозволяють вирішити завдання забезпечення електроенергією великі промислові підприємства і електротранспорт. Воднева енергетика також відповідає світовим тенденціям автономного і локального енергоспоживання. Використання водневих установок більш екологічне хоча б тому, що дозволяють генерувати стільки електроенергії, скільки необхідно споживачеві, і використовувати її з меншими втратами електроенергії, ніж при електропостачанні від центру живлення. Розподілені джерела енергії (РДЕ) є дуже зручні для віддалених регіонів, куди важко прокласти ЛЕП, і для дачних і віддалених селищ, що характерно для України. Зараз в такі райони завозять паливо або спалюють дерево для обігріву і використовують дизель-генератор для отримання електроенергії. І те, і інше є малоефективним. Так як використання водневих технологій дасть можливість вирішити ці проблеми, тому розглянемо способи отримання водню. В Україні прийнята Дорожня карта розвитку водневої енергетики на період до 2035 року щодо забезпечення використання водню у якості екологічно чистого енергоносія [16].

Також цікавим є підхід запропонований в працях [17–19], який полягає у використанні суміші

Брауна (Brown's gas (HNO gas)), яка є більш ефективною з точки зору теплоутворення.

Отримання водню

Водень не зустрічається в природі в чистій формі і повинен вилучатись з інших з'єднань за допомогою різних хімічних методів. Різноманітність способів отримання водню є одним з головних переваг водневої енергетики, так як підвищує енергетичну безпеку і знижує залежність від окремих видів сировини. До них відносяться: парова конверсія метану і природного газу, газифікація вугілля, електроліз води, піроліз, часткове окислення, біотехнології. Всі методи отримання водню можна розділити на лабораторні та промислові.

У лабораторних умовах в даний час застосовується:

- взаємодія активних металів з кислотами – неокислювачами:

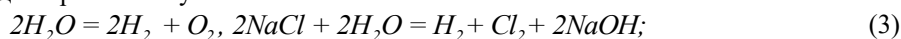


- взаємодія алюмінію (або цинку) з водними розчинами лугів:

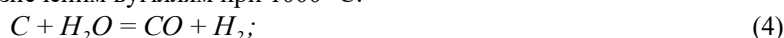


У промисловості:

- електроліз води і водних розчинів лугів і солей:



- пропускання парів води над розпеченим вугіллям при 1000 °C:



- парова і парокиснева конверсія метану:



- газифікація вугілля:



- використання ядерної енергетики;

- використання альтернативних джерел енергії.

З розвитком виробництва водню в великих масштабах зазнали зміни методи його отримання. Так, залізо-паровий процес, газифікація твердого палива і виділення водню з коксового газу поступилися місцем більш економічним новим способам, однак старі методи і в даний час продовжують ще застосовуватися в промисловості в невеликих масштабах. Сьогодні технології великомасштабного виробництва і переробки водню є добре освоєними (рис. 2).

Однак чисте широке використання водню стикається з такими складнощами:

1. Виробництво водню з використанням низьковуглецевої електроенергії на даний момент є дорогим. Дослідження, проведені International Energy Agency (IEA) виявили, що вартість виробництва водню з ВДЕ може знизитися на 30% до 2030 року в результаті зменшення витрат на ВДЕ та збільшення виробництва водню. Паливні елементи, обладнання для заправних станцій та електролізери (які виробляють водень з електрики та води) мають перспективу. Розвиток водневої інфраструктури відбувається повільно. Ціни на водень для споживачів сильно залежать від того, скільки є заправних станцій, як часто вони використовуються та скільки водню поставляється на день. Вирішити цю задачу можна за допомогою планування та координації, що об'єднає національні та місцеві органи влади, промисловість та інвесторів.

2. Водень майже повністю постачається із природного газу та вугілля. Водень вже використовується у промислових масштабах у всьому світі, але його виробництво пов'язане з викидами CO₂. Тому потрібно перепрофілювати виробництво водню за допомогою ВДЕ.

3. Нормативні акти обмежують розвиток чистої водневої енергетики. Уряд та промисловість повинні працювати разом, щоб діючі нормативні акти не були непотрібною перешкодою для інвестицій.

Шляхи збільшення обсягів виробництва водню:

1. Концентрація виробництва в районі великих портів, які й будуть основними центрами споживання і виробництва водню. Сьогодні більша частина виробництва нафтопереробних та хімічних речовин, що використовує водень на основі викопного палива, вже зосереджена в прибережних промислових зонах по всьому світу, таких як Північне море в Європі, узбережжя Перської затоки в Північній Америці та південний схід в Китаї. Політика заохочення цих заводів перейти на більш чисте виробництво водню призведе до зниження загальних витрат. Ці великі джерела постачання водню можуть також заправляти судна та вантажівки, що обслуговують порти, та жити інші сусідні промислові об'єкти, такі як металургійні заводи. Застосування чистого водню для заміщення лише 5% від обсягу поставок природного газу суттєво збільшить попит на водень. Це можна реалізувати шляхом розбудови на базі

існуючої газової інфраструктури, яка складає вже має мільйони кілометрів газопроводів.

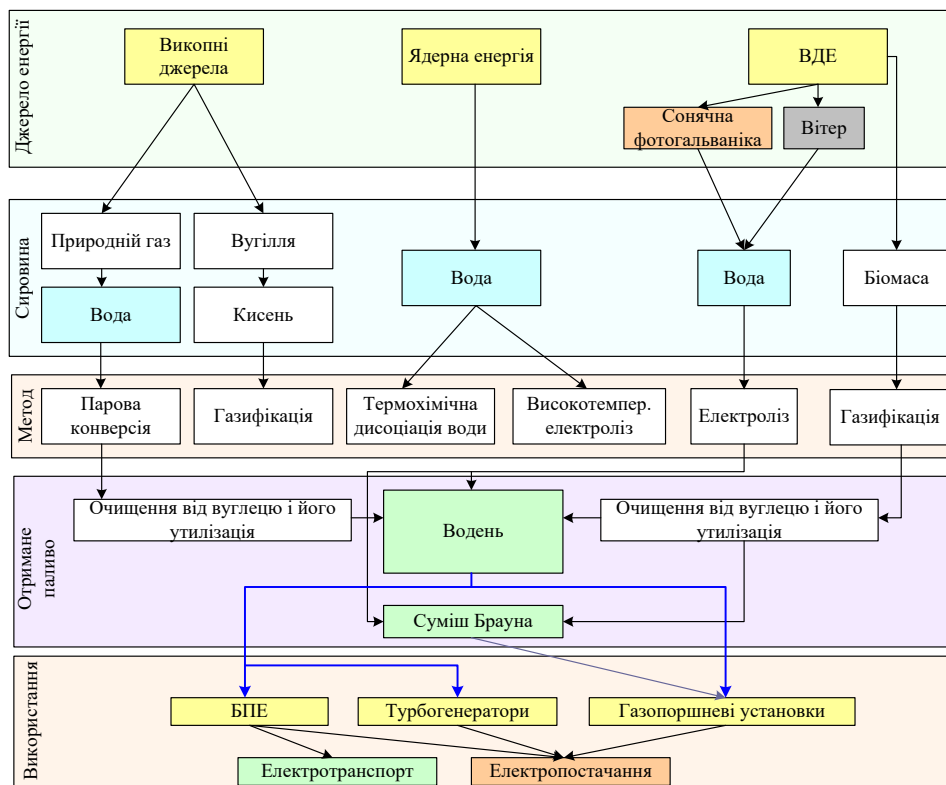


Рис. 2. Методи отримання водню та суміші Брауна та галузі їх застосування [20]

2. Використання водню у транспорті. Потужність автомобілів, вантажівок та автобусів для перевезення пасажирів та вантажів може зробити транспортні засоби на паливних елементах більш конкурентоспроможними.

3. Міжнародна торгівля воднем. Якщо уряди працюють над координуваним збільшенням масштабу водню, це може сприяти стимулюванню інвестицій у заводи та інфраструктуру, що зменшить витрати та дасть змогу обмінюватися знаннями та найкращими практиками.

Водень в залежності від технології отримання класифікують на «зелений водень» виробляється за допомогою електроенергії з ВДЕ, що мають нестабільний характер генерування; «Сірий водень», це водень отриманий з метану з відповідними викидами CO_2 ; «Блакитний водень» це сірий водень, але з використанням вугілля (зазвичай ефективність 50–70%). «Жовтий водень» використовує ядерну електроенергію для електролізу. «Бірюзовий водень» отримують з метану піролізом розплавленого металу з побічним продуктом у вигляді вуглецю. Укрупнена схема використання водню для генерування тепла та електроенергії та компенсації впливу нестабільності генерування ВДЕ представлена на рис. 3.

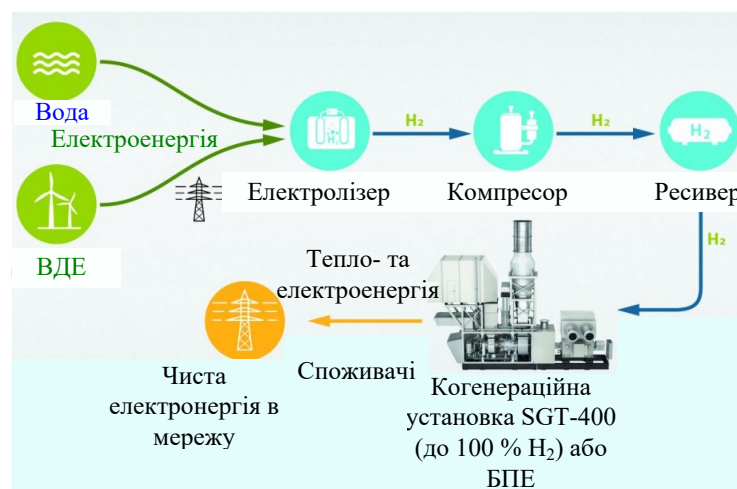


Рис. 3. Блок-схема використання водню для тепло- та електропостачання (БПЕ – батарея паливних елементів)

Принципова схема комбінованої енергоустановки невеликої потужності, може містити батарею паливних елементів (БПЕ) або турбогенератор, вітрогенератор, електролізер, ресивер. Така установка могла

б, наприклад, використовувати в якості автономного джерела енергопостачання так і комбіновано з центром живлення.

Висновки

Використання водневих технологій є перспективним напрямком компенсації нестабільності негарантованих джерел енергії в електроенергетичних системах. Стримуючим фактором до системного їх інтегрування є досить висока вартість, потреба значних капітальних вкладень, що робить їх менш доступними в порівнянні з хімічними накопичувачами. Прогнозуються світові тенденції зменшення вартості водню, як палива, що пришвидшить здешевлення згенерованої за допомогою водневих установок електроенергії, тому даний напрямок потребує більш детальних досліджень.

Література

1. О. БУСЛАВЕЦ, "Синхронизация с ENTSO-E не решит проблемы дефицита маневренной мощности," *"Энергобизнес"* vol. 15, no. 1208, p. 5, 2021.
2. P. Lezhniuk, "Selfoptimization local electric systems modes with renewable energy sources," *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, vol. 1, pp. 29-33, 06/05 2019.
3. Рубаненко О. О., Янович В. П., and Г. І. О., "Аналіз роботи ВДЕ в розподільних мережах та шляхи компенсації їх нестабільності.," *Вісник Хмельницького національного університету.*, vol. 5, pp. 176-179, 2019.
4. O. Rubanenko, O. Miroshnyk, S. Shevchenko, V. Yanovych, D. Danylchenko, and O. Rubanenko, "Distribution of Wind Power Generation Dependently of Meteorological Factors," in *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2020, pp. 472-477.
5. S. L. Gundebommu, I. Hunko, O. Rubanenko, and V. Kuchanskyy, "Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants," in *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 2020, pp. 190-194.
6. O. Rubanenko, I. Hunko, O. Rubanenko, and A. Rassõlkin, "Influence of Solar Power Plants on 0.4 kV Consumers," in *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2019, pp. 1-5.
7. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 2020, pp. 128-133.
8. J. Ren, S. Gao, H. Liang, S. Tan, and L. Dong, "Chapter 1 - The Role of Hydrogen Energy: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats," in *Hydrogen Economy*, A. Scipioni, A. Manzardo, and J. Ren, Eds.: Academic Press, 2017, pp. 1-33.
9. K. Volkart, M. Densing, R. De Miglio, T. Priem, S. Pye, and B. Cox, "Chapter 23 - The Role of Fuel Cells and Hydrogen in Stationary Applications," in *Europe's Energy Transition*, M. Welsch et al., Eds.: Academic Press, 2017, pp. 189-205.
10. C. Mittelsteadt, T. Norman, M. Rich, and J. Willey, "Chapter 11 - PEM Electrolyzers and PEM Regenerative Fuel Cells Industrial View," in *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*, P. T. Moseley and J. Garche, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2015, pp. 159-181.
11. J. O. Abe, A. P. I. Popoola, E. Ajenifuja, and O. M. Popoola, "Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 29, pp. 15072-15086, 2019/06/07/ 2019.
12. E. Varkarakis, N. Lymberopoulos, E. Zoulias, D. Guichardot, and G. Poli, "Hydrogen-based uninterruptible power supply," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 32, pp. 1589-1596, 07/01 2007.
13. A. Ursúa, P. Sanchis, and L. Marroyo, "Chapter 14 - Electric Conditioning and Efficiency of Hydrogen Production Systems and Their Integration with Renewable Energies," in *Renewable Hydrogen Technologies*, L. M. Gandía, G. Arzamendi, and P. M. Diéguez, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 333-360.
14. C. D. Demirhan, W. W. Tso, J. B. Powell, C. F. Heuberger, and E. N. Pistikopoulos, "A Multiscale Energy Systems Engineering Approach for Renewable Power Generation and Storage Optimization," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 16, pp. 7706-7721, 2020/04/22 2020.
15. P. B. Радченко, А. С. Мокрушин, and В. В. Тюльпа, *Водород в энергетике*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014, p. 229.
16. S. Kudria, O. Riepin, L. Yatsenko, L. Shynkarenko, and M. Tkalenko, "КОНЦЕПЦІЯ ДОРОЖНЬОЇ КАРТИ РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2035 РОКУ," *Vidnovluyana energetika*, pp. 22-28, 12/26 2019.
17. M. Ozcanli, M. A. Akar, A. Calik, and H. Serin, "Using HHO (Hydroxy) and hydrogen enriched castor oil biodiesel in compression ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 36, pp. 23366-23372, 2017/09/07/ 2017.
18. S. e. A. Musmar and A. A. Al-Rousan, "Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines," *Fuel*, vol. 90, no. 10, pp. 3066-3070, 2011/10/01/ 2011.
19. V. Mamilla, K. Murthy, M. Krishna, T. S. S. S. ManikanthaSwamy, A. Ramesh, and M. Krishna, "Production of Brown's Gas using Hydroxy Generator," *International Journal of Engineering and*

Technology(UAE), vol. 7, pp. 428-457, 09/22 2018.

20. (2021). *Водородная энергетика: методы получения водорода и экономические оценки*. Available: <https://goldvoice.club/@boltyn/vodorodnaya-energetika-metody-polucheniya-i-ekonomicheskie-ocenki/>

References

1. O. BUSLAVETS, "Synkhronyzatsiya s ENTSO-E ne reshyt problemy defytsyta manevrennoi moshchnosti," "Enerhobiznes" vol. 15, no. 1208, p. 5, 2021.
2. P. Lezhniuk, "Selfoptimization local electric systems modes with renewable energy sources," PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, vol. 1, pp. 29-33, 06/05 2019.
3. Rubanenko O. O., Yanovych V. P., and H. I. O., "Analiz roboty VDE v rozpodilnykh mrezhakh ta shliakhy kompensatsii yikh nestabilnosti" Herald of Khmelnytskyi National University, vol. 5, pp. 176-179, 2019.
4. O. Rubanenko, O. Miroshnyk, S. Shevchenko, V. Yanovych, D. Danylenko, and O. Rubanenko, "Distribution of Wind Power Generation Dependently of Meteorological Factors," in 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2020, pp. 472-477.
5. S. L. Gundebommu, I. Hunko, O. Rubanenko, and V. Kuchanskyy, "Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 190-194.
6. O. Rubanenko, I. Hunko, O. Rubanenko, and A. Rassolkin, "Influence of Solar Power Plants on 0.4 kV Consumers," in 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCon), 2019, pp. 1-5.
7. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 128-133.
8. J. Ren, S. Gao, H. Liang, S. Tan, and L. Dong, "Chapter 1 - The Role of Hydrogen Energy: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats," in Hydrogen Economy, A. Scipioni, A. Manzardo, and J. Ren, Eds.: Academic Press, 2017, pp. 1-33.
9. K. Volkart, M. Densing, R. De Miglio, T. Priem, S. Pye, and B. Cox, "Chapter 23 - The Role of Fuel Cells and Hydrogen in Stationary Applications," in Europe's Energy Transition, M. Welsch et al., Eds.: Academic Press, 2017, pp. 189-205.
10. C. Mittelsteadt, T. Norman, M. Rich, and J. Willey, "Chapter 11 - PEM Electrolyzers and PEM Regenerative Fuel Cells Industrial View," in Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, P. T. Moseley and J. Garche, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2015, pp. 159-181.
11. J. O. Abe, A. P. I. Popoola, E. Ajenifuja, and O. M. Popoola, "Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 29, pp. 15072-15086, 2019/06/07/ 2019.
12. E. Varkarakis, N. Lymberopoulos, E. Zoulas, D. Guichardot, and G. Poli, "Hydrogen-based uninterruptible power supply," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 32, pp. 1589-1596, 07/01 2007.
13. A. Ursua, P. Sanchis, and L. Marroyo, "Chapter 14 - Electric Conditioning and Efficiency of Hydrogen Production Systems and Their Integration with Renewable Energies," in Renewable Hydrogen Technologies, L. M. Gandía, G. Arzamendi, and P. M. Diéguez, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 333-360.
14. C. D. Demirhan, W. W. Tso, J. B. Powell, C. F. Heuberger, and E. N. Pistikopoulos, "A Multiscale Energy Systems Engineering Approach for Renewable Power Generation and Storage Optimization," Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 59, no. 16, pp. 7706-7721, 2020/04/22 2020.
15. R. V. Radchenko, A. S. Mokrushyn, and V. V. Tiulpa, Vodorod v enerhetyke. Ekaterinburh: Yzd-vo Ural. un-ta, 2014, p. 229.
16. S. Kudria, O. Riepin, L. Yatsenko, L. Shynkarenko, and M. Tkachenko, "KONTSEPTSIYA DOROZHNOI KARTY ROZVYTKU VODNEVOI ENERHETYKY UKRAINY NA PERIOD DO 2035 ROKU," Vidnovluyana energetika, pp. 22-28, 12/26 2019.
17. M. Ozcanli, M. A. Akar, A. Calik, and H. Serin, "Using HHO (Hydroxy) and hydrogen enriched castor oil biodiesel in compression ignition engine," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 42, no. 36, pp. 23366-23372, 2017/09/07/ 2017.
18. S. e. A. Musmar and A. A. Al-Rousan, "Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines," Fuel, vol. 90, no. 10, pp. 3066-3070, 2011/10/01/ 2011.
19. V. Mamilla, K. Murthy, M. Krishna, T. S. S. S. ManikantaSwamy, A. Ramesh, and M. Krishna, "Production of Browns Gas using Hydroxy Generator," International Journal of Engineering and Technology(UAE), vol. 7, pp. 428-457, 09/22 2018.
20. (2021). Vodorodnaia enerhetyka: metody polucheniya vodoroda y ekonomicheskiye otsenky. Available: <https://goldvoice.club/@boltyn/vodorodnaya-energetika-metody-polucheniya-i-ekonomicheskie-ocenki/>

РУБАНЕНКО О.О.

ГУНЬКО І.О.

ПРЯДКО В.А.

ГАСИЧ В.В.

ГРЕСЬКОВ Д.О.

ORCID ID¹: 0000-0002-2660-182X iryna_hunko@ukr.net

Надійшла/Paper received : 23.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-226-233

УДК 685. 34. 042

І.О. ЗАСОРНОВА, О.С. ЗАСОРНОВ

Хмельницький національний університет

Г.А. РІПКА

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

**РОЗРОБКА КЛАСИФІКАТОРУ ЗАСТОСУВАННЯ
QR-КОДІВ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

В роботі розроблено класифікатор QR-кодів, які використовуються в легкій промисловості і поділяються на статичні, динамічні, комбіновані. Представлено результати досліджень щодо використання споживачами QR-кодів. Виготовлено етикетку для виробів з використанням QR-коду, у якому міститься посилання на сайт ТКШВ – Маркет. На сайті розташовується інформація про швейні вироби, які виготовлені на кафедрі ТКШВ. З сайту можливо перейти на Telegram-канал, в якому споживачам зручно задавати додаткові питання про виріб, побачити процес створення QR-коду тощо.

Ключові слова: QR-коди, класифікатор, сфери застосування кодів, QR Code Generator, ТКШВ – Маркет, споживачі.

IRYNA O. ZASORNOVA, ALEXANDER S. ZASORNOV

Khmelnytsky National University, Ukraine

GALYNA A. RIPKA

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

DEVELOPMENT OF CLASSIFIER FOR THE APPLICATION OF QR CODES IN LIGHT INDUSTRY

A classifier of QR-codes, which are used in light industry and are divided into static, dynamic, combined is developed in this work. Static QR codes can be digital, text or symbolic. Digital QR-codes are divided into subspecies: product code, product price, manufacturer code, date and other numerical designations. Text QR-codes are divided into subtypes: product name, product description, manufacturer and other text designations. Symbolic QR-codes are divided into subtypes: special symbols, formatting symbols and other marking symbols.

Combined together, several types of QR codes form a combined code. Frequently static and dynamic QR codes are combined. Dynamic QR codes can only be combined.

Based on the survey data, we can assume that the most important are the four main ways to use the QR-code are: "Outdoor advertising", "Code on goods", "Electronic ticket" and "Discount code". Other ways to use a QR code, according to experts, have a much lower impact in terms of application. These include: "Invitation to social networks", "Tourism", "Banking", "Company logo", "Clothing and accessories", "Tattoos". This opinion of experts is typical only for Ukraine, because according to foreign studies, tattooing a QR-code on the human body is quite often met.

Taking into account the results of the study, a label for products was made using a QR-code, which contains a link to the site TKSHV - Market. On the site it is possible to get acquainted in more detail with the products made at the department, to provide consumers with information about them. From the site it is possible to go to the Telegram-channel, where it is convenient to ask additional questions, see the process of creating a QR-code and more. It is also planned to create other channels on social networks, such as Instagram, Facebook, Viber. This will allow the consumer to use a more convenient social network.

Keywords: QR-codes, classifier, areas of usage of codes, QR Code Generator, TKSHV - Market, consumers.

Постановка проблеми

Швейна галузь, як і легка промисловість України в цілому, на сьогоднішній день перебуває у незадовільному стані, що характеризується цілою низкою серйозних проблем, зокрема це:

- відсутність на внутрішньому ринку товарів вітчизняного виробництва та його totale заповнення дешевими, низькоякісними виробами іноземного походження, значну частку серед яких, займають товари "секонд-хенд";
- застосування вітчизняними підприємствами давальницьких схем виробництва;
- погано розвинута інфраструктура галузі;
- недостатня інвестиційна та інноваційна діяльність;
- не конкурентоспроможність вітчизняної продукції як за ціною, так і за якістю [1].

Основним недоліком українських фірм є те, що в них мало розвинена маркетингова стратегія. Більшість виробництв шукають замовлення за кордоном. Підприємства не мають власних сайтів, сторінок в соціальних мережах тощо. Лише частина підприємств намагається впроваджувати новітні технології у виробництво, завдяки чому одразу відчувають переваги: збільшення замовлень, підвищення популярності бренду, запитуваність в Інтернеті тощо.

На сьогодні одним із прогресивних засобів надання та розповсюдження інформації є QR-код. QR-код – це легкий та доступний спосіб донесення відомостей про себе, про вироби або бренд до потенційних споживачів. QR-код має давню історію, хоча активно стали його використовувати лише останні десять років. Перевагою цього кодування є його компактність та зручність, надання споживачам більше інформації, зворотного зв'язку та інших переваг, якими вони можуть користуватись, виконавши такі дії, як сканування коду. Споживачам потрібно забезпечити зручне користування при придбанні товару. На жаль, на тих

ринках, де QR-коди все ще не достатньо популярні, сканування призводить до непрацюючих посилань, або web-сайти не синхронізуються з мобільними пристроями. Відповідно, такий сервіс не може сприяти швидкому перегляду необхідної інформації і в покупців немає зацікавленості у придбанні таких товарів.

На сьогодні в Україні ще не повністю використовують інновації щодо використання QR-кодів. Найбільш поширені із них застосовуються у зовнішній рекламі: постери, бігборди, оголошення, візитівки тощо. Це дає можливість рекламодавцю миттєво доносити інформацію до споживача лише за допомогою смартфона. Більше не потрібно писати довгі та місткі інформаційні статті, на що може витратитися велика кількість паперу та площі, варто просто розмістити код. В швейній промисловості інколи використовують QR-коди на етикетках, але при цьому кожне підприємство вкладає лише якусь частину інформації про виріб, зазвичай не враховується призначення одягу та відповідність певній віковій групі, немає зворотного зв'язку з виробником тощо. Серед виробів зустрічаються такі, що оздоблені вишивкою із зображенням QR-кодів (футболки, сорочки, краватки, домашній текстиль тощо). Але наявна інформація є індивідуальною і пов'язана з конкретними практичними напрацюваннями, але науково не обґрунтована. Тому виникає питання щодо необхідності дослідження сфер застосування QR-кодів, зокрема у легкій промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

QR-код виконує наступну функцію: вміщує певні відомості у невеликому рисунку, складність якого залежить від кількості інформації. Максимальна кількість цієї інформації може бути більше двох друкованих сторінок. Сучасні пристрої сканування QR-кодів і відповідне програмне забезпечення дозволяють автоматично зчитувати закодовані дані [2].

QR-код – простий, зручний та інтерактивний спосіб оперативного отримання і розповсюдження інформації щодо продукту [3]. Його було створено у 1994 р. японською компанією Denso Wave у зв'язку зі зростанням вимог до машино-зчитуваних шифрів. Оскільки з'явилася потреба у розміщенні певної кількості інформації на малій площі [4].

Великого поширення отримали етикетки з вмістом QR-коду. Наразі майже кожен продукт має на етикетці QR-код. За допомогою нього виробник може спостерігати який вид товару більш затребуваний, зашифрувати умови акції або розіграшу, отримати зворотній зв'язок від покупця тощо [5].

Аналізуючи інформацію про QR-код, його використання та поширення серед споживачів, постає питання, як можна його застосувати у швейній промисловості при виробництві одягу?

QR-коди дають можливість миттєво поспілкуватися зі своїми клієнтами. Наприклад, розмістивши QR-коди на різних сукнях, користувачам можна отримати всю інформацію про розміри, кольори та доступні для них варіанти. Більше того, ці коди можуть дати геніальні ідеї вдягання для клієнтів. Вкладене відео з цими кодами надасть додаткові подробиці, щоб переконати їх зробити покупку, що, в свою чергу, може збільшити продажі [6].

QR- та інші двовимірні штрих-коди були досить широко задіяні для захисту товарів від підробок, оскільки вони є недорогими. Їх можна також використовувати для забезпечення додаткових функцій залучення клієнтів. Модний бренд Ralph Lauren почав додавати QR-коди на ярлики своїх виробів, щоб запобігти підробці та взаємодіяти з клієнтами. Випуск етикеток розпочато з його знакової лінійки одягу Polo і врешті-решт охопив десятки мільйонів товарів у своєму каталозі [7].

QR-код – це дієвий спосіб донесення до клієнта історії бренду, можливість показати джерела натхнення, які використовували при створенні колекцій, розказати про використання органічних тканин при виготовленні одягу, поділитися відео, показуючи процес виготовлення одягу [8].

Використовуючи QR-коди, можна "прив'язати" клієнтів до акаунтів у соціальних мережах, таких як Facebook, Instagram та інших. Можна також використовувати QR-код для об'єднання різних соціальних мереж. Подібним чином ці коди дають можливість сканувати теги, надсилати фотографії та завантажувати їх у соціальні мережі [9].

Фірма Smart PJ представила лінійку нічного одягу для зацікавлення маленьких дітей [10]. Концепція була вперше введена, щоб відрізнити свій бренд від конкурентів. Вони розмістили на своєму одязі QR-коди, які містили історії. В основу сюжету входили відео та аудіозаписи дитячих віршів та ігор [11]. Коли батьки сканували коди, смартфони відтворювали відео та аудіо та допомагали дітям заснути. Це означає, що піжама – це кожен день нова історія, всього їх 90 [11]. Також цікавою є робота Little Red Riding Hood разом з Unit040. Вони створили та запропонували виробляти постільну білизну з орнаментом QR-коду. Але "казка оживає", коли камеру планшета чи смартфон наводять на нього. Тоді з'являється герой-персонаж, або посилання до відео-казки. Автори зазначають, що така форма взаємодії дітей з новими технологіями дозволить поширити традиції, культуру свого народу [12].

QR-коди – високоякісний інструмент для накопичення відгуків покупців, з'ясування думки клієнтів про той чи інший бренд, товари та послуги. Після сканування коду, з'являється форма із запитаннями (максимум їх може бути п'ять із вибором відповіді "так" чи "ні"). При цьому є можливість поставити запитання про послугу, лінійку продуктів. Також залишають незаповнене місце для відгуків, рекомендацій, якщо такі є. Можна використовувати QR-коди для зберігання інформації про уподобання покупців, а також використовувати цю інформацію, щоб тримати їх в курсі майбутніх колекцій, знижок та розпродажів [5].

Сучасні споживачі хочуть більше знати про те, "як", "де" і "коли" було створено їх одяг [12]. Тому виробники почали додавати QR-код для того, щоб споживач міг дізнатися та прочитати цю інформацію про

фабрику. Така взаємодія стала соціально відповідальною формою спілкування у формі споживач-виробник [13].

Модні гіганти такі, як ZARA, H&M тощо [4], давно застосовують QR-коди у своїх рекламних компаніях. Більш того, вони почали друкувати їх на етикетках, щоб мати прямий зв'язок зі споживачем, дізнаватися його вподобання та відгуки. У 2012 році бренд Victoria's Secret демонстрував білборди з QR-кодами, які заохочували людей їх сканувати [13]. Сканування QR-кодів дозволило людям переглянути останню колекцію нижньої білизни бренду.

Також така форма спілкування має і зворотну відповідь. Користувач, відсканувавши QR-код, може отримати інформацію про виріб: де і при яких умовах було виготовлено одяг, відгуки інших користувачів, наявність розмірів та моделей у магазині, переглянути колекції бренду тощо. Така форма спілкування дає змогу збільшити продажі та дізнатися смаки своїх споживачів для виробників та дізнатися більше про компанію для клієнтів [14].

Ще одного поширеного застосування набуває принт на одязі у вигляді або з вмістом QR-коду [15]. Навіть деякі дизайнери створюють принт по тканині за мотивами QR-кодів.

Sem Trout – незалежний модельєр, який працює в Сієтлі, США, у 2010 році випустив низку одягу, оздобленого QR-кодами, як для чоловіків, так і для жінок. Сканування QR-коду спрямовувало людей до зображень, вибраних дизайнером. Він навіть оголосив челендж для прихильників: відслідковувати одяг у певній послідовності. Необхідно було відсканувати код на першій футболці. Потім з'являлись подальші інструкції для змагання [5].

Також на сьогодні в Інтернет-магазинах можна придбати вишиванки з QR-кодами. За відносно лояльну ціну кожен має змогу скористатись інноваційною модою.

Виробники швейного обладнання теж використовують інноваційні технології. У Нідерландах було створено спеціальну машину для вишивки QR-кодів у промислових масштабах. LogoBorduurstudio, компанія використовує вишивальну машину, керовану комп'ютерним управлінням, для виготовлення тканини, яка складається з QR-кодів. Це дозволяє вишивати штрих-коди на одязі або на інших виробах [16, 17].

Виклад основного матеріалу

До переваг застосування QR-кодів можна віднести:

- велика кількість інформації, яка записується у двох напрямках: вертикальному і горизонтальному. Такий підхід дозволяє істотно збільшити обсяг збережених відомостей;
- простота сканування цифровими пристроями. Це дає можливість легко і оперативно перенести дані в електронний вигляд без ручного набору;
- можливість самостійно розробити QR-код на сторінку Facebook, Instagram тощо. Для цього існують спеціальні безкоштовні додатки.

На основі проведеного аналітичного огляду щодо використання QR-кодів у різних сферах діяльності, авторами розроблено класифікатор, рис. 1.

Згідно з класифікатором (рис. 1) QR-коди, які використовуються в легкій промисловості можуть бути статичними і динамічними (1-2).

Статичні QR-коди в свою чергу можна поділити на наступні види: цифрові, текстові і символні (1.1-1.3).

Цифрові QR-коди в свою чергу поділяються на підвиди: код продукту, ціна продукту, код виробника, дата та інші цифрові позначення (1.1.1–1.1.5).

Текстові QR-коди поділяються на підвиди: назва продукту, опис продукту, виробник та інші текстові позначення (1.2.1–1.2.4).

Символьні QR-коди поділяються на підвиди: спеціальні символи, символи форматування та інші символні позначення (1.3.1–1.3.3).

Поєднані разом декілька видів QR-кодів утворюють комбінований код (3). Найчастіше статичні і динамічні QR-коди комбіновані. Динамічні QR-коди можуть бути лише комбінованими.

Комбіновані QR-коди (3) розділяють за призначенням: посилання, контакти, доступ до WI-FI, інформація, адреса, пости, мультифакторна аутентифікація, програмні продукти, відеоконтент, аудіоконтент, візитівка, оплата товарів, знижки і бонуси, соціальні мережі, захист від підробок, інше застосування (3.1–3.16). Класифікатор може бути розширений, оскільки розвиток QR-кодування продовжується.

Проведення методу експертних оцінок дозволило визначити: де найчастіше, на думку респондентів, зустрічається QR-код. Дані опитування 15 експертів надано у табл. 1.

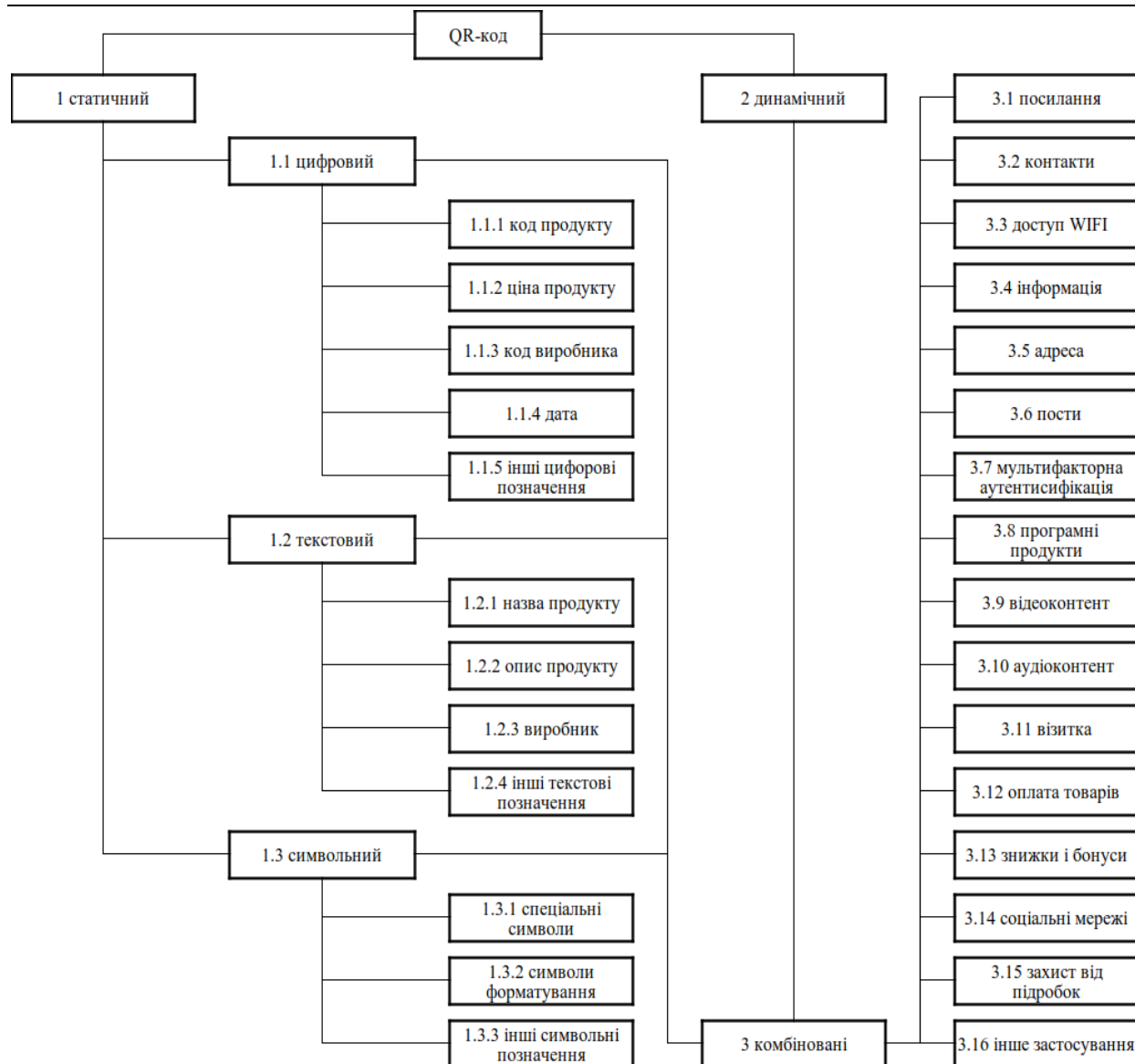


Рис. 1. Класифікатор використання QR-кодів в легкій промисловості

Таблиця 1

Результати опитування (метод експертних оцінок)

Спосіб застосування QR-коду	Шифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Зовнішня реклама	X1	1	3	4	1	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1
Логотип компанії	X2	9	7	8	9	3	5	9	5	9	8	8	7	6	9	7
Код на товарах	X3	6	1	1	3	4	4	3	2	3	2	1	4	3	4	4
Код для знижки	X4	7	4	6	2	1	3	8	6	5	4	4	2	2	2	5
Банківська справа	X5	5	5	2	10	5	7	10	3	8	7	5	6	9	7	9
Електронний квиток	X6	3	2	3	4	6	2	2	4	2	3	3	5	4	5	2
Запрошення до соц. мереж	X7	4	8	5	5	7	6	7	8	6	5	9	1	6	6	8
Туризм	X8	2	6	7	6	9	10	4	7	4	6	6	8	10	3	5
Татування	X9	10	9	10	7	10	9	6	10	10	9	7	9	8	10	10
Одяг, аксесуари	X10	8	7	9	8	8	8	5	9	7	10	10	10	9	8	6

Групі експертів ($j=15$) запропоновано визначити вагомість способу застосування QR-коду X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9 і X10, ($n=9$). Найбільш вагомою характеристикою експертами було присвоєно ранг – ($R=1$), менш важливий – ($R=2$), найменш важливий – ($R=10$).

Необхідною умовою ефективного застосування методів експертної оцінки є достатня обізнаність експерта з досліджуваною проблемою, високий рівень ерудиції, здатність його давати чіткі вичерпні відповіді.

Думки фахівців не завжди повністю співпадають, тому для остаточного визначення місця, займаного об'єктом порівняно з іншими об'єктами, підраховується сума рангів для кожного об'єкту. Об'єкту, що одержав мінімальну суму, привласнюється перший ранг, об'єкту з максимальною сумою – останній. Решта об'єктів одержує проміжні ранги. На основі отриманих результатів виконано розрахунки, які наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати експертної оцінки вагомості основних способів використання QR-коду

Результати експертної оцінки	Умовне позначення показника									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Сума рангів	24	109	44	60,5	97,5	50	91,5	92,5	134	122
Підсумковий ранг	1	8	2	4	7	3	6	5	10	9
Коефіцієнт конкордації			0,6349	Ступінь свободи						9
Критерій Пірсона розрахунковий			85,71	Рівень значущості						0,05
Критерій Пірсона табличний			16,92	Ступінь узгодженості експертів достатня						

Результати опитування оброблено за допомогою програми Microsoft Office Excel, використання якої дозволило здійснити необхідні розрахунки і побудувати діаграму, рис. 2.

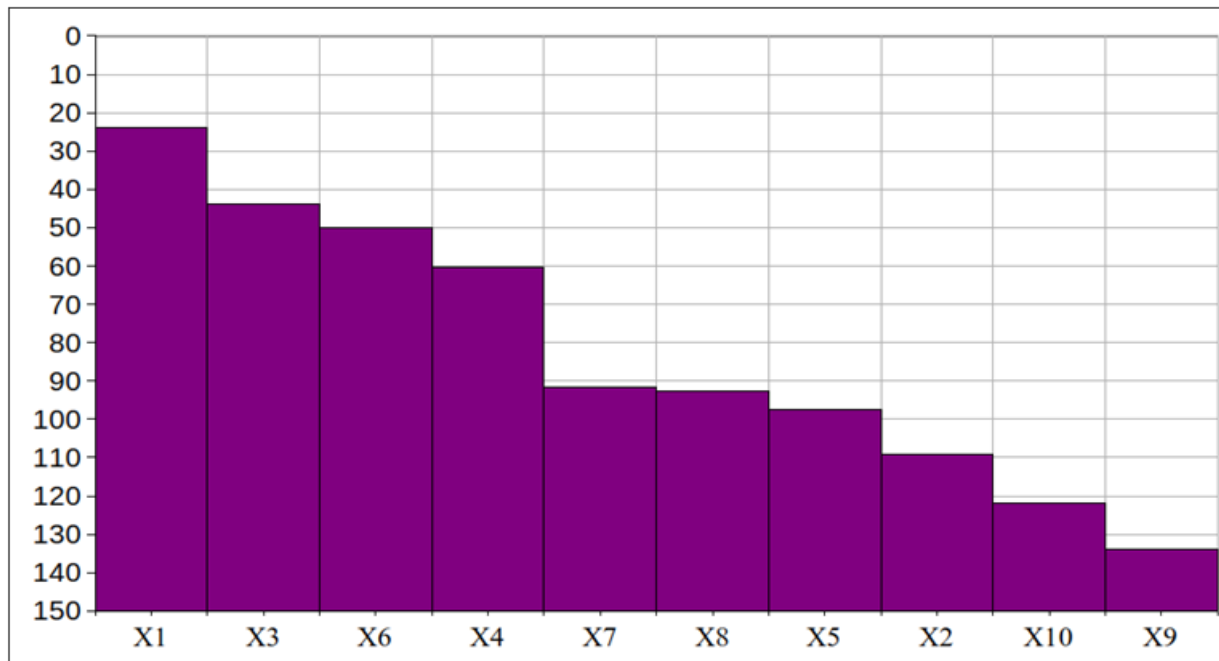


Рис. 2. Діаграма рангів експертної оцінки вагомості основних способів використання QR-коду

Спираючись на зібрані дані, можна вважати, що вагомими є чотири основні способи використання QR-коду – це "Зовнішня реклама" ($X1=24$), так як отримала від експертів найменшу суму рангів. "Код на товарах" ($X3=44$), "Електронний квиток" ($X6=50$) та "Код для знижки" ($X4=60,5$). Інші способи використання QR-коду, на думку експертів, мають значно нижчу вагомість за способом застосування, оскільки отримали понад 90 балів із 150. Перерахуємо їх за зменшенням вагомості: "Запрошення до соціальних мереж" ($X7=91,5$); "Туризм" ($X8=92,5$); "Банківська справа" ($X5=97,5$); "Логотип компанії" ($X2=109$); "Одяг і аксесуари" ($X10=122$); "Татуювання" ($X9=134$). Найменш важливими з усіх способів використання, на думку експертів, є три останніх, оскільки вони отримали понад 100 балів із 150. Треба чітко розуміти, що така думка експертів характерна лише для України, оскільки за закордонними дослідженнями татуювання QR-коду на тілі людини є досить актуальним.

Враховуючи проведені результати дослідження також було виготовлено етикетку для виробів з використанням QR-коду, у якій міститься посилання на сайт ТКШВ – Маркет. Сайт спеціально створено для кафедри ТКШВ, на якому можна розташовувати швейні вироби, які виготовлені на кафедрі. На сьогодні на

сайті розташовано чоловічі штани та інформація про них (розмір, сировинний склад матеріалів, умови експлуатації та інші відомості). З сайту можливо перейти на Telegram-канал, в якому зручно задавати додаткові питання про виріб, побачити процес створення QR-коду тощо. Також планується створити інші канали в соціальних мережах, таких як Instagram, Facebook, Viber. Це дасть можливість споживачу користуватись більш зручною для нього соціальною мережею.

Для виготовлення QR-коду на етикетці використано вишивку, яку виконано на вишивальній машині JANOME 350 E [18, 19], рис. 3.

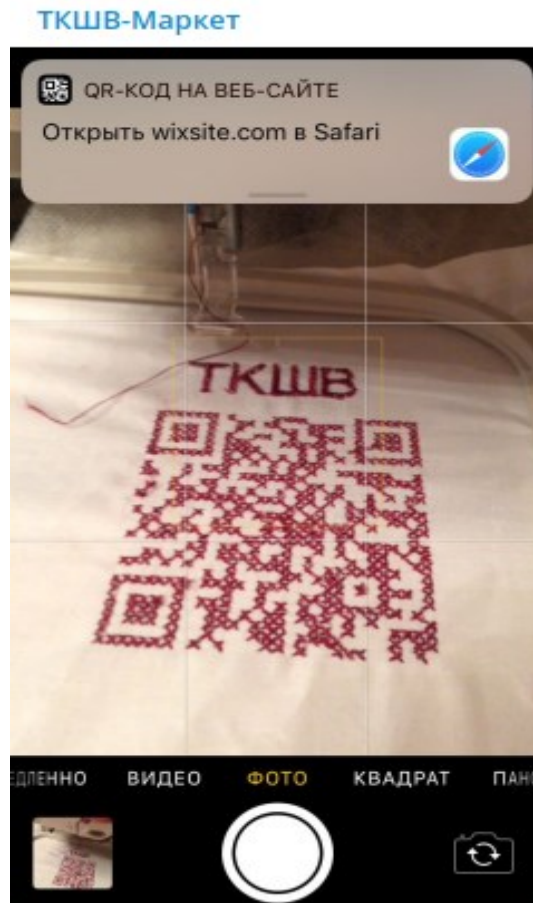


Рис. 3. Виготовлення QR-коду на етикетці

На сьогодні існує багато платних сервісів, які надають послуги з генерування кольорових чи неформатних кодів. В межах проведених досліджень, для виконання QR-коду на етикетці пропонується використовувати безкоштовний сервіс QR Code Generator [20]. В результаті сервіс для генерації QR-коду надає посилання для розміщення на сайті, готовий код для вбудовування. Процес створення коду не займає багато часу – необхідно тільки вказати вихідні дані для шифрування і натиснути кнопку "Згенерувати".

Висновки

Варто зазначити, що впровадження QR-коду в легку промисловість дасть змогу місцевим виробникам гідно конкурувати з іноземними брендами, представляти вироби більшій аудиторії та сприяти поширенню своєї компанії серед споживачів. Наразі застосування QR-коду в легкій промисловості є незначним, проте з кожним роком його популярність збільшується, що дасть можливість додаткового спілкування між виробником та споживачем.

Авторами розроблено класифікатор QR-кодів, які використовуються в легкій промисловості і поділяються на: статичні, динамічні, комбіновані. Визначено, що статичні QR-коди можуть бути цифровими, текстовими або символічними. Поєднані разом декілька видів QR-кодів утворюють комбінований код. Найчастіше статичні і динамічні QR-коди є комбінованими. Динамічні QR-коди можуть бути лише комбінованими.

Проведені дослідження серед споживачів показали, що найбільш вагомими є чотири основних способи використання QR-коду – це "Зовнішня реклама" ($X_1=24$), так як отримала від експертів найменшу суму рангів, "Код на товарах" ($X_3=44$), "Електронний квиток" ($X_6=50$) та "Код для знижки" ($X_4=60,5$).

За результатами досліджень виготовлено етикетку для виробу з QR-кодом, який містить посилання на сайт ТКШВ – Маркет. На сайті розташована вичерпна інформація про виріб (розмір, сировинний склад матеріалів, умови експлуатації та інші відомості). В подальшому планується наповнювати сайт пізнавальними публікаціями, веденням блогу із споживачами, розташовувати інші вироби тощо. Крім того, є

можливість спілкування з споживачами в більш зручній для них соціальній мережі. На сьогодні це Telegram-канал, найближчим часом заплановано відкриття сторінки в Instagram, Facebook та групи у Viber.

Література

1. Бичковська Ю. О. Сучасний стан швейної промисловості України [Електронний ресурс] / Ю. О. Бичковська, Є. Г. Юрин – Режим доступу : <http://www.ukr.vipreshebnik.ru/economika-pidpr/4537-suchasnij-stan-shvejnoji-promislovosti-ukrajini.html>.
2. Разумов Д. Все про QR-код [Електронний ресурс] / Д. Разумов. – 2019. – Режим доступу : <https://aboutmarketing.info/internet-marketynh/instrumenty/vse-pro-qr-kod/>.
3. Byoungho J. Consumer store experience through virtual reality: its effect on emotional states and perceived store attractiveness / J. Byoungho, G. Kim, M. Moore, L. Rothenberg // *Fashion and Textiles*. – 2021. – P. 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00256-7>.
4. QR Codes in Fashion Retail: East versus West. Fashionbi. 2019. <https://fashionbi.com/newspaper/qr-codes-in-fashion-retail-east-versus-west>.
5. How to use QR codes on clothing apparel and T-shirts? <https://www.qrcode-tiger.com/how-to-use-qr-codes-on-clothing-and-t-shirts>.
6. How to create a video QR code in 7 steps! <https://www.qrcode-tiger.com/how-to-create-a-video-qr-code>.
7. Taylor P. Ralph Lauren launches QR-based digital IDs for Polo clothing. *SecuringIndustry*. 2019. <https://www.securindustry.com/clothing-and-accessories/ralph-lauren-launches-qr-code-digital-ids-for-polo-clothing/s107/a10982/#.X7hO72UzaUm>.
8. Rizwan Z. QR Codes in Fashion and Accessories: Here Technology Meets Style. 2017. <https://scanova.io/blog/blog/2017/03/21/qr-codes-fashionaccessories/>.
9. QR code types: 15 primary QR solutions and their functions. <https://www.qrcode-tiger.com/qr-code-types>.
10. How to use QR Codes on clothing? 2019. <https://www.qrcodechimp.com/how-to-use-qr-codes-on-clothing/>.
11. Rizwan Z. Smart PJ's: A Digital Twist In The Tale. 2016. https://scanova.io/blog/blog/2016/08/02/smart-pjs/?utm_source=zr_sd_qr-codes-fashion-accessories_bod&utm_medium=blog&utm_campaign=content.
12. Kuusk K. Crafting sustainable smart textile services. Eindhoven, 2016. 244 p.
13. QR Codes for Apparel Brands: Maximizing Customer Engagement. 2012. <https://www.qliktag.com/how-apparel-brands-can-use-qr-codes-to-maximize-customer-engagement/>.
14. Trace My Fashion. 2014. <https://www.fashionrevolution.org/trace-my-fashion/>.
15. Cross switch: Stitching gets technical – in pictures // *The Guardian*. 2011.
16. Григоренко О. О. Використання QR-кодів у швейній промисловості / О. О. Григоренко, І. О. Засорнова, О. С. Засорнов // XI Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція молодих вчених та студентів "Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості". Секція 1: Індустрія моди та технології легкої промисловості. 17-18 листопада, 2020 р. у м. Хмельницькому. – С. 122–125. – Режим доступу : http://tksv.khnu.km.ua/inetconf/2020/grigorenko_zasornova_zasornov.pdf.
17. Campbell J. QR codes embroidering machine created in the Netherlands. 2013. <https://www.qrcodepress.com/wp-content/cache/all/qr-codes-embroidering-machine-created-in-the-netherlands/8517745/index.html>.
18. Zasornova I. The research of technological parameters of the machine embroidery, made by cross elements, and practical recommendations for their application / I. Zasornova // *Study of problems in modern science: new technologies in engineering, advanced management, Efficiency of social institutions*. Monograph. Bydgoszcz – 2015. – P. 131–141.
19. Slavinskaya A. Ethnic designer component of clothes' decoration techniques using / A. Slavinskaya, O. Syrotenko, I. Zasornova, A. Zasornov // *Vlakna a textile. (Fibres and Textiles)*. – 2019. – 26(4). – P. 69–83.
20. QR Code Generator. <https://www.qr-code-generator.com/>

References

1. Bychkovska Yu. O. Suchasnyi stan shveinoi promyslovosti Ukrainy [Elektronnyi resurs] / Yu. O. Bychkovska, Ye. H. Yurin – Rezhym dostupu : <http://www.ukr.vipreshebnik.ru/economika-pidpr/4537-suchasnij-stan-shvejnoji-promislovosti-ukrajini.html>.
2. Razumov D. Vse pro QR-kod [Elektronnyi resurs] / D. Razumov. – 2019. – Rezhym dostupu : <https://aboutmarketing.info/internet-marketynh/instrumenty/vse-pro-qr-kod/>.
3. Byoungho J. Consumer store experience through virtual reality: its effect on emotional states and perceived store attractiveness / J. Byoungho, G. Kim, M. Moore, L. Rothenberg // *Fashion and Textiles*. – 2021. – P. 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00256-7>.
4. QR Codes in Fashion Retail: East versus West. Fashionbi. 2019. <https://fashionbi.com/newspaper/qr-codes-in-fashion-retail-east-versus-west>.
5. How to use QR codes on clothing apparel and T-shirts? <https://www.qrcode-tiger.com/how-to-use-qr-codes-on-clothing-and-t-shirts>.
6. How to create a video QR code in 7 steps! <https://www.qrcode-tiger.com/how-to-create-a-video-qr-code>.
7. Taylor P. Ralph Lauren launches QR-based digital IDs for Polo clothing. *SecuringIndustry*. 2019. <https://www.securindustry.com/clothing-and-accessories/ralph-lauren-launches-qr-code-digital-ids-for-polo-clothing/s107/a10982/#.X7hO72UzaUm>.

8. Rizwan Z. QR Codes in Fashion and Accessories: Here Technology Meets Style. 2017. <https://scanova.io/blog/blog/2017/03/21/qr-codes-fashionaccessories/>.
9. QR code types: 15 primary QR solutions and their functions. <https://www.qrcode-tiger.com/qr-code-types>.
10. How to use QR Codes on clothing? 2019. <https://www.qrcodechimp.com/how-to-use-qr-codes-on-clothing/>.
11. Rizwan Z. Smart PJs: A Digital Twist In The Tale. 2016. https://scanova.io/blog/blog/2016/08/02/smart-pjs/?utm_source=zr_sd_qr-codes-fashion-accessories_b od&utm_medium=blog&utm_campaign=content.
12. Kuusk K. Crafting sustainable smart textile services. Eindhoven, 2016. 244 p.
13. QR Codes for Apparel Brands: Maximizing Customer Engagement. 2012. <https://www.qliktag.com/how-apparel-brands-can-use-qr-codes-to-maximizecustomerengagement/>.
14. Trace My Fashion. 2014. <https://www.fashionrevolution.org/trace-my-fashion/>.
15. Cross switch: Stitching gets technical – in pictures // The Guardian. 2011.
16. Hryhorenko O. O. Vykorystannia QR-kodiv u shveinii promyslovosti / O. O. Hryhorenko, I. O. Zasornova, O. S. Zasornov // KhI Mizhnarodna naukovo-praktychna Internet-konferentsiia molodykh vchenykh ta studentiv "Resursozberihaiuchi tekhnolohii lehkoï, tekstylnoi i kharchovoi promyslovosti". Sektsiia 1: Industriia mody ta tekhnolohii lehkoï promyslovosti. 17-18 lystopada, 2020 r. u m. Khmelnytskomu. – S. 122–125. – Rezhyim dostupu : http://tksv.khnu.km.ua/inetconf/2020/grigorenko_zasornova_zasornov.pdf.
17. Campbell J. QR codes embroidering machine created in the Netherlands. 2013. <https://www.qrcodepress.com/wp-content/cache/all/qr-codes-embroidering-machine-created-in-the-netherlands/8517745/index.html>.
18. Zasornova I. The research of technological parameters of the machine embroidery, made by cross elements, and practical recommendations for their application / I. Zasornova // Study of problems in modern science: new technologies in engineering, advanced management, Efficiency of social institutions. Monograph. Bydgoszcz – 2015. – R. 131–141.
19. Slavinskaya A. Ethnic designer component of clothes decoration techniques using / A. Slavinskaya, O. Syrotenko, I. Zasornova, A. Zasornov // Vlakna a textile. (Fibres and Textiles). – 2019. – 26(4). – R. 69–83.
20. QR Code Generator. <https://www.qr-code-generator.com/>.

ЗАСОРНОВА І.О.
ЗАСОРНОВ О.С.
РІПКА Г.А.

ORCID ID: 0000-0001-6655-5023
 ORCID ID: 0000-0002-9387-6997
 ORCID ID: 0000-0003-0172-867X

izasornova@gmail.com
 azasornov@gmail.com
 Textiles.snu@gmail.com

Надійшла/Paper received : 08.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

ПРИНЦИПИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВКЛАДНИХ УСТІЛОК ІЗ ПІДГРОМ ДЛЯ УТЕПЛЕНОГО ВЗУТТЯ

У статті проаналізовані всі існуючі методи підігріву стопи в утепленому взутті, розглянуті види наявних устілок з підігрівом. Розглянуті такі види підігріву устілки як хімічний та механічний. Вдосконалено та описано принцип виготовлення власних устілок із підігрівом, які в подальшому зможуть використовуватись для обігріву стоп.

Ключові слова: утеплене взуття, стопа, устілка, устілка з підігрівом, теплоізоляційна фольга, термоустілка, теплоізоляція, акумулятор, електронідегрів, безпроводні устілки.

I.T. SOLTYK

Khmelnytskyi National University

PRINCIPLES OF MANUFACTURE OF INSERTED INSOLES WITH HEATING FOR WARMED SHOES

To date there are several ways to insulate shoes. Among them: the use of quality leather raw materials for the outer parts of the upper and natural fur for the inner parts of the upper of the shoe; application of insert insoles from heat-insulating foil; use of special insoles with a heating element

Successful solution of the problem of heating the feet with the help of special insoles will diversify the range of shoes for the cold season, namely shoes for children, military, the elderly, people with impaired blood circulation in the vessels, hunters, fishermen and athletes. Currently, there are many imported thermal insoles on the footwear market, the prices of which are often too high for the average Ukrainian buyer. Therefore, it will be appropriate to make Ukrainian shoes of good design and good quality with special insert insoles at lower prices to meet the consumer needs of our consumers. It will also be possible to make only thermal insoles, which can be inserted into any shoe. Therefore, the topic of this scientific article is very relevant.

The article analyzes all existing methods of heating the foot in warm shoes, considers the types of available insoles with heating. Such types of insole heating as chemical and mechanical are considered. Based on previously obtained experimental data, calculations were performed, based on which the required diameter of the wire to be used for heating the insoles was determined. The principles of production of insoles with a heating element which will be used for heating of feet in the cold period of the year are stated. An inexpensive foot heater has been developed, namely, an insole with a heating element made of wire cantaloupe A-1 with a diameter of 0.46 mm, which can be activated from absolutely any type of battery, from laptops, Powerbank, etc.

Keywords: warmed footwear, foot, insole, insole with heating, heat-insulating foil, thermal insole, thermal insulation, accumulator, electric heating, wireless insoles.

Постановка проблеми

В умовах ринкової економіки, яка характеризується стрімким розширенням асортименту товарів і послуг, загостренням конкурентної боротьби між вітчизняними та закордонними виробниками, що підсилена глобальною кризою, все більш актуальним є питання оновлення асортименту продукції для забезпечення профілактики здоров'я людей [1]. Це досягається при створенні виробів високої якості з дотриманням вимог ергономічності та екологічності.

Як відомо, стопи відіграють надзвичайно важливу роль у самопочутті людини. На них розташовані рефлекторні точки – місця концентрації нервових закінчень. Замерзлі ноги – головна причина нежиті та застуди в холодну пору року. Є різні способи утеплити черевики: покласти всередину взуття хутряну устілку, надягати щільні та теплі шкарпетки.

Дуже актуальне питання обігріву дитячих стоп, вкрай важливим є обігрів стоп у холодну пору року для військових, які захищають кордони України на сході. Там в умовах війни надто важко зберігати взуття в гарному стані, правильно за ним доглядати, висушувати в мокру погоду і т.д. Також актуальною є проблема обігріву стоп для людей похилого віку, людей з порушеною у судинах циркуляцією крові, мисливців, рибалок та спортсменів. Тому тема даної наукової статті дуже актуальна.

На сьогоднішній день для утеплення пропонується використовувати спеціальні устілки з фольги [2]. Тієї самої, теплоізоляційної, яка використовується для утеплення стін і відображення тепла від батарей (часто прокладають за батареєю таку фольгу, і тепле повітря залишається в кімнаті). Для утеплення взуття допоможе саме теплоізоляційна фольга, оскільки вона захищає ногу від переохолодження [3].

Устілка – один з основних елементів взуття, від якого залежить опорна комфортність, теплозахисні, гігієнічні та інші характеристики взуття, а також можливість профілактики ряду деформаційних відхилень в стопі, усунення локальних перевантажень [1]. Теплозахисні устілки – захищають від холоду, оскільки утримують тепло і підтримують комфортну температуру стопи, не даючи стопам охолотитися. Така устілка може складатися з одного або двох шарів, один з яких виготовляється з вовни, хутра, повсті, або з трьох шарів різних матеріалів, які створюють ефект термоса: два шари з текстильного матеріалу сітчастої структури (верхній і нижній), а середній шар фольга із спеціальними отворами, довільно розташованими для відведення пароповітряної суміші у внутрішньому взуттєвому просторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Після проведеного аналізу науково-технічної інформації, була створена наступна класифікація устілок вкладних [1].

Вкладні устілки поділяються за трьома ознаками: 1) за конструкцією: одношарові, багатошарові, з наповнювачем; 2) за призначенням: побутові та спеціальні (ортопедичні, профілактичні – масажні, гігієнічні, теплозахисні); 3) за матеріалом: натуральні, синтетичні (штучні), комбіновані.

На ринку сьогодні є надзвичайно велика кількість способів та пристосувань для обігріву тіла людини: термобілизна, термокуртки, термоштани, термощарпетки, термоустілки та ін. Ціни також дуже різні, можуть відрізнятися в десятки разів. У зв'язку з цим розробка конструкції та виготовлення теплозахисних устілок для утепленого взуття є актуальною та перспективною темою для подальших наших досліджень.

Термоустілки для взуття. Людство користується ними вже багато років. Але сучасні варіанти цих аксесуарів можуть значно більше, ніж їхні попередники. Тепер їх виготовляють не просто з цупкої тканини або хутра, а з таких матеріалів, як латекс, корок, бамбук, фольга і навіть активоване вугілля. Завдяки цьому забезпечується абсолютний захист стоп не лише від холоду, але і від вологи, бактерій і неприємного запаху. Іноді для того, щоб нарешті перестати мерзнути, достатньо всього лише замінити устілки [4].

Тим, кого такі речі особливо не вражають, виробники пропонують ще один варіант – устілки з підігрівом, що працюють від акумулятора. Для людей, яким доводиться днями стояти на морозі, вони можуть стати справжньою рятівною соломинкою, також для спортсменів, котрі взимку активно тренуються на відкритому повітрі. В сьогоднішніх реаліях, коли на сході країни вже котрий рік ідуть бойові дії, такі устілки зможуть захистити від переохолодження стопи наших військових.

Термоустілки для взуття є невеликими, легкими і тонкими вкладками, призначеними для генерації і збереження тепла всередині взуття в холодну пору року. Простота використання, висока ефективність і приємний ефект роблять цей продукт справді унікальним.

До складу хімічних термоустілок входять тільки екологічно чисті компоненти, безпечні для людини і навколишнього середовища. Порошок заліза – один з найпоширеніших елементів в природі і широко використовується в медицині. Активоване вугілля – це прекрасний природний абсорбент, що всмоктує не тільки вологу, але і запахи. У складі устілок активоване вугілля відповідає за сухість і дезодорацію ніг. Деревне борошно в складі грілок-устілок також виступає в якості абсорбенту. Воно відмінно поглинає і утримує в собі вологу і запахи, даруючи тепло і комфорт. Вермикуліт – це природний мінерал, який широко використовується в промислових цілях. У термоустілках вермикуліт служить теплоізоляційним матеріалом, не даючи дорогоцінному теплу витратитися. Сіль, в складі грілок для ніг виконує охолоджуючі функції, не даючи температурі генераторів тепла піднятися вище прийнятної для людини.

Застосування хімічних гріючих устілок буде комфортним і не заподіє шкоди людині. Тільки тепло і комфорт [5]. Відкривати такі устілки необхідно тільки перед використанням. Вкладають устілки у взуття, або, відривають на устілках липку стрічку і приклеюють устілки на шкарпетки, починаючи від пальців ніг і ближче до зовнішньої сторони стопи.

Далі розглянемо механічні устілки для обігріву стопи. Термоустілки з підігрівом бувають з підзарядкою від акумулятора, безпроводні, на пульті. Такі термоустілки облаштовані бездротовим пультом дистанційного керування, мають три режими [6]: низький, середній, високий від 35 до 60 градусів.

Устілка-грілка для взуття [6] має наступні характеристики. Цифровий пульт дистанційного керування: трьохтемпературний регульований. Ємкість акумулятора: 3,7 в 2100 мАч. Режим зарядки: постійний струм і постійна напруга. Термін служби батареї: 500 циклів та більше. Після завантаження, високий рівень може досягати 55 °C всередині взуття і час використання близько 5 годин. Середній діапазон може досягати 45 °C час використання становить близько 7 годин. Низький діапазон до 35 °C, час використання близько 6 годин.

До таких устілок у комплекті йде зарядний шнур USB-C. Заряджати їх можна від Powerbank, комп'ютера, прикурювача, будь-якого зарядного на 5 Вольт. Можна використовувати швидку зарядку до 16 Вт.

Устілки з підігрівом SNEGIRI від Powerbank. Устілки з підігрівом українського виробництва, з надійним нагрівачем з карбонового волокна [7]. У цих устілок є відмінності від інших провідних аналогів. Серед них: застосований надійний нагрівальний елемент з карбонового волокна без струмоведучих пластин (у аналогів як правило переламуються при ходьбі пластини, устілка перестає працювати через 1-2 тижні); устілки можуть працювати більше 10 годин безперервно, від Powerbank ємністю 20000 мАч; нагрів по всій поверхні, з упором на пальці (у китайських аналогів нагрівається зона 10–15 см в основному по центру, у бездротових устілок тільки носок; вибір аксесуарів, тобто можливість роботи в різних умовах, від різних джерел живлення (у аналогів зазвичай тільки один варіант); гарантія – 1 місяць, так як Україна є виробником і є всі можливості для сервісу (у аналогів китайського виробництва, як правило, гарантія закінчується перевіркою при отриманні).

Устілки можна використовувати де завгодно: в холодному офісі (від комп'ютера), по шляху на роботу (від батарейок) або на роботі (від PowerBank) в авто (від прикурювача) або на зимовій риболовлі. Також носіям таких устілок знадобиться PowerBank ємністю 10000 мАг або 20000 мАг, який є в наявності.

SNEGIRI мають ряд переваг: карбоновий нанотехнологічний нагрівачий елемент витримує більше

5 млн кроків; інфрачервоний підігрів стоп корисний для здоров'я; максимальна теплоізоляція з матеріалу EVA щільністю в 100 шор (більше не буває, устілки зберігають тепло у взутті, навіть коли відключені).

Характеристики устілок з підігрівом SNEGIRI: температура нагріву до 45 °C; час роботи від батарейок/акумуляторів до 5 годин; час нагріву від 3 хвилин; нагрів по всій поверхні (не тільки носкова частина взуття); напруга живлення 5...6 В; товщина 7-8 мм (4-5 мм після усадки).

Самоклеючі грілки для рук, ніг, термоустілки, устілки з підігрівом. Устілки розроблені спеціально для того, щоб зігрівати і перешкоджати переохолодженню ніг [8]. Термоустілки стануть незамінним супутником в подорожах і прогулянках, в холодну пору року, в приміщенні і на вулиці. Середня температура нагріву + 41°C / + 43°C. В упаковці 2 штуки (1 пара). Тривалість дії: 7–10 годин. Склад: Залізна пудра, активоване вугілля, сіль, вермикуліт, абсорбуюча смола.

Устілки CRIVIT з підігрівом (Німеччина), з електропідігрівом від акумуляторів для лижних черевиків і звичайного взуття [9]. CRIVIT® - німецький бренд, який займається виготовленням товарів для спорту і активного відпочинку. Розмір 36-48 європейський, підрізають під необхідний розмір.

Час роботи підігріву до 8–10 годин. У комплекті: 2 устілки з підігрівом, потужність 250 mAh з шлейфами (60 cv); 2 акумулятора літій-іон 2000 mAh 3,7V, з LED індикатором, з кріпленням на черевикі, зарядний пристрій від мережі 220V, заряджає відразу 2 устілки.

Отже, можна зробити такі висновки з проведеного аналізу джерел літератури.

Принцип роботи устілок з підігрівом. Пристрій досить простий, на базі устілки знаходиться вкладиш-грілка. Завдяки цьому вона захищає стопи від холоду кілька годин. Устілка виконана з матеріалу, який добре зберігає і повторює форму стопи, а також рівномірно розподіляє тепло.

За принципом роботи устілки поділяють на такі типи: хімічні та механічні.

Хімічні. Найпростіші за принципом дії, так звані хімічні акумулятори. Їх нагрівальний ефект заснований на хімічній реакції, яка виробляє тепло. В основі такої пластичної устілки — гель, який при розминанні виробляє тепло. Нагрівання відбувається в результаті хімічної реакції. Такий вигляд пристрою одноразовий і це їх основний недолік. Перед застосуванням знімається верхній шар, що призводить до її роботи. Термін використання не більше 4 годин. Перевага: простота використання, доступна ціна.

Механічні. Дія таких устілок заснована на звичному ефекті живлення від батареї. Нагрівальний елемент отримує енергію від акумулятора, який заряджається заздалегідь від мережі. Працювати така устілка може від 6 до 12 годин. Вони бувають двох типів: провідні та безпровідні. В безпровідних устілках акумулятор розташований у п'ятковій частині, саме від нього залежить тривалість роботи. В деяких модифікаціях передбачений пульт, за допомогою якого регулюється час і рівень нагріву. У провідних типах устілок або дровових пристрій забезпечує рівномірне нагрівання, для з'єднання устілки і батареї використовуються дроти.

Але їх об'єднує те, що в обидвох цих видах є вбудований нагрівальний елемент, який працює від струмів низької напруги. Даний тип вважається найбезпечнішим, тому його можна використовувати тривалий час. Пристрій тонкий, завдяки легкому нагрівальному елементу. Навколо розміщений матеріал, який сприяє рівномірному розподілу температури. Нагрівальний елемент безпечний для людини. У всіх цих устілках є величезний недолік: вони дорогі для середньостатистичного українського споживача. Тому перед нами стоятиме завдання розроблення та виготовлення таких вкладних устілок з підігрівом, які б мали відносно невисоку ціну.

У своїй роботі ми зупинимося на бездротових устілках з підігрівом, оскільки саме вони свідчать про технічний прогрес, який дійшов навіть до устілок. Конструкція проста і не має проводів, що і цікавить багатьох потенційних клієнтів. Управляється устілка з допомогою виносного дистанційного пульта. Пристрій в нашій конструкції має не великий акумулятор. Перевагами подібних моделей є: можливе застосування з будь-яким типом взуття; термін придатності близько 3-х років, хоча багато що залежить від інтенсивності експлуатації; можливість регулювання температурних режимів.

Формулювання цілей статті

В нашій роботі були визначені перспективи розробки бездротових устілок з підігрівом з метою утеплення взуття в холодну пору року та, як наслідок, виготовлення таких устілок. Тому завданням даної роботи є розрахунок нагрівального елемента для вкладних устілок та виготовлення їх прототипу, які будуть доступні за своєю ціною політикою для середньостатистичного українського покупця.

Виклад основного матеріалу

Розрахунок нагрівального елемента для вкладної устілки.

Проаналізувавши різні джерела інформації щодо вибору матеріалів у якості нагрівального елемента устілки з підігрівом, ми зупинились на двох видах: дріт з ніхрому та дріт з канталу. Є багато різних сплавів з високим питомим опором, з яких можна робити нагрівачі. У нашому прикладі розглянемо ніхром і кантал. Основна відмінність трьох видів Кантала - різний зміст алюмінію в своєму складі, що трохи впливає на питомий опір: кантал А1 - 5,8%; кантал А - 5,3%; кантал D - 4,8%. Кантал А-1 - більш жаростійкий сплав, ніж інші, відповідно, для наших устілок рекомендується саме Кантан А-1. Для простоти розрахунків, нижче наведена таблиця 1, яка містить в собі відношення діаметра дроту до його опору на 1 метр (Ом/м).

Таблиця 1

Таблиця переведення перетину дроту з AWG* в мм

Діаметр		Kanthal A-1	Kanthal A	Kanthal D	Nichrome 60	Nichrome 80
AWG*	мм	Ом/м	Ом/м	Ом/м	Ом/м	Ом/м
20	0,81	2,76	2,76	2,76	2,36	1,96
21	0,72	3,54	3,54	3,15	2,76	2,76
22	0,64	4,33	4,33	4,33	3,54	3,15
23	0,57	5,51	5,51	5,13	4,33	4,33
24	0,51	7,09	6,69	6,69	5,51	5,12
25	0,46	9,06	8,66	8,27	7,09	6,69
26	0,41	11,42	10,63	10,63	9,06	8,66
27	0,36	14,17	13,39	13,39	11,42	10,63
28	0,32	18,11	17,32	16,54	14,57	13,39
29	0,29	22,44	21,65	20,87	18,11	17,32
30	0,26	28,35	27,17	26,38	22,83	21,65
31	0,22	35,83	34,25	33,46	28,74	27,17
32	0,20	45,28	43,31	42,13	36,22	34,65
33	0,18	57,09	54,72	53,15	45,67	43,70
34	0,16	72,44	69,29	67,32	57,87	55,51
35	0,14	90,55	86,61	84,25	72,44	69,29
36	0,13	114,96	109,84	106,69	91,73	88,19
37	0,11	144,88	138,58	134,65	115,75	111,81
38	0,10	181,50	173,62	168,50	144,88	140,16

* Примітка: *AWG – американська система маркування діаметрів дроту.

Розрахунок дрютяного нагрівача здійснюється в першу чергу для визначення необхідного джерела живлення, тобто таких його параметрів як напруга і струм, ну і як наслідок – потужності.

Щоб знайти повний опір відрізка дроту, потрібно:

1. Визначити (задати) діаметр дроту і його матеріал.

2. Згідно з отриманими (заданими) даними, знайти його опір (Ом/м). Для цього потрібно помножити довжину відрізка дроту (в метрах), на питомий опір, в результаті вийде величина опору [10].

3. Знаючи опір, можна підключити наш дріт до джерела живлення, щоб знайти струм [10, 11]. Згідно із законом Ома ($I=U/R$) струм дорівнює напруга (у вольтах) поділена на опір (в Ом), на виході вийде струм в Амперах. Це потрібно в такій ситуації: у нас є блок живлення, наприклад, на 12 вольт і максимум на 3 Ампера. Потрібно перевірити, чи не буде струм від нашого нагрівача перевищувати максимальний допустимий струм з боку живлення. Щоб знайти потужність нагрівача у Ватах, потрібно помножити струм на напругу ($P=U \cdot I$), де P – електрична потужність (у Ватах).

Задаймося джерелом живлення. Нехай це буде блок живлення на 12 Вольт від світлодіодної стрічки. Розраховуємо його струм [12]: $I=P/U=30/12=2,5$ Ампер. Отже, потрібен блок живлення як мінімум на 3 Ампера, щоб був запас по струму.

Тепер можна знайти опір нагрівача із закону Ома: $R=U/I=12/2,5=4,8$ Ом.

Далі звертаємось до таблиці опорів (табл. 1), прикинувши потрібну довжину дроту. Припустимо, що нам потрібен нагрівач з довжиною 0,5 м. Це означає, що питомий опір буде $4,8/0,5=9,6$ Ом/м.

Шукаємо в таблиці 1 найближчий питомий опір (в нашому прикладі це 9,06 Ом/м), і таким чином знаходимо потрібну нам площу поперечного перерізу дроту (діаметр 0,46 мм, отже площа 0,16 мм²).

Питомий опір буде злегка відрізнятись, так що можна провести перевірочний розрахунок, як на самому початку роботи. Знаючи новий питомий опір (для обраного дроту), перераховуємо на наші 0,5 метрів: $9,06 \cdot 0,5=4,53$ Ом. Таким чином, струм у ланцюзі буде $12/4,53=2,65$ Ампер, що трохи вище, ніж ми хотіли, але не вище 3 Ампер, як у нашого блоку живлення. Також збільшилася потужність, $2,65 \cdot 12=32$ Вт. Якщо «реальне» значення нас не влаштовує, то можна злегка змінити довжину нагрівача, і струм і потужність будуть такі, як задавалися спочатку. Тобто беремо не 0,5 метра, а трохи більше.

Щоб знайти нову довжину дроту, потрібно спочатку розділити опір на табличний питомий опір, тобто в нашому прикладі це $4,8/9,06=0,53$ метра. Як бачимо, довжина нашого нагрівача збільшилася на 3 см, але тепер ми отримаємо потрібні нам 30 Вт.

Переваги кантала перед ніхромом: у кантала питомий опір вище, ніж у ніхромі, при цьому питома вага менше, отже, більш він економічніший; температура плавлення канталу вище; він більш стійкий до окислення на повітрі при високих температурах; кантал відмінно тримає форму, у нього відсутня "пружинистість".

Отже, пропонуємо для наших вкладних устілок із підігрівом використовувати здубльовані матеріали. Першим шаром, який буде контактувати безпосередньо зі стопою, беремо будь-який матеріал для утепленого взуття: фетр або повсть. Другим шаром буде жорсткий картон, на який і буде кріпитись дріт з канталу А-1 діаметром 0,46 мм. Саме цей дріт і буде нагріватись і підігрівати стопи при охолодженні. Для того щоб дріт не створював небезпеку для стопи, пропонуємо його заламінувати разом із картоном. Після чого потрібно буде здублювати обидва шари вкладних устілок.

Висновки

Як відомо, існує декілька способів утеплення взуття. Успішне вирішення задачі обігріву стоп з допомогою спеціальних устілок дозволить урізноманітнити асортимент взуття для холодної пори року. В даний час на ринку взуття є багато термоустілок імпортного виробництва, ціни на які досить часто занадто високі для середньостатистичного українського покупця. Тому доречно виготовляти українське взуття гарних конструкцій та хорошої якості зі спеціальними вкладними термоустілками за адекватними цінами, щоб задовольнити споживчі потреби нашого споживача. Також можливий варіант виготовлення лише термоустілок, які можна буде вставляти у будь-яке взуття.

Для утеплення стоп обрано механічний вид безпроводних устілок. Розроблено недорогий за ціною обігрівач для ніг, а саме вкладну устілку з нагрівальним елементом виготовленого з дроту канталу А-1 діаметром 0,46 мм, який можна активувати абсолютно від кожного виду батареї, від ноутбуків, Powerbank та ін.

Література

1. Взуття спеціального призначення з активним впливом на рефлекторні точки ноги : монографія / [С. С. Гаркавенко, О. В. Ковальчук, Н. В. Первая, Н. Д. Пруднікова] ; за заг. ред. С. С. Гаркавенко. – К. : КНУТД, 2017. – 116 с.
2. Щоб вашим ногам було тепліше. Як утеплити зимове взуття за «копійки» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.volyn.com.ua/news/119839-shchob-vashym-noham-bulo-teplishe>
3. Стельки обувные, термо стельки натуральные с фольгой [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ua.all.biz/stelki-obuvnye-termo-stelki-naturalnye-s-folgoj-g2481555>
4. 7 корисних речей для зими, про які Ви, можливо, не знали... [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://epicentrk.ua/ua/articles/7-poleznykh-veshchey.html>
5. Термостельки, стельки с подогревом одноразовые [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://электропростынь.укр/termostelki-krasnue.html>
6. Термостельки с подогревом беспроводные [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/2100ma-termo-stelki-podogrevom-akkumulyator-besprovodnye-pult-lyzhnye-IDJatRB.html>
7. Стельки с подогревом SNEGIRI от Powerbank [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/stelki-s-podogrevom-snegiri-ot-powerbank-eto-ne-massazher-tonometr-IDJfg7F.html>
8. Самоклеющиеся грелки для рук, ног, термостельки, стельки с подогревом [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/samokleyushchiesya-grelki-dlya-ruk-nog-termostelki-stelki-s-podogrevom-IDBGTql.html>
9. Стельки Германия CRIVIT с подогревом [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/stelki-germaniya-crivit-s-podogrevom-stelki-ustlki-z-pdgrvom-nov-IDFxdOl.html>
10. Закон Ома для участка цепи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://electricalschool.info/main/osnovy/1227-zakon-oma-dlja-uchastka-cepi.html>
11. Электрический опір. Закон Ома для ділянки кола. 8 клас. Фізика. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uroky.com.ua/elektrychnyj-opir-zakon-oma-dlja-diljanky-kola/>
12. Писаренко Г. С. Опір матеріалів : підручник / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський ; за ред. Г. С. Писаренка. – 2-е вид., допов. і переробл. – К. : Вища шк., 2004. – 655 с. : іл. – ISBN 966-642-056-2.

References

1. Vzuttya spetsialnoho pryznachennia z aktyvnym vplyvom na reflektorni tochky nohy : monohrafiia / [S. S. Harkavenko, O. V. Kovalchuk, N. V. Pervaia, N. D. Prudnikova] ; za zah. red. S. S. Harkavenko. – K. : KNUITD, 2017. – 116 s.
2. Shchob vashym noham bulo teplishe. Yak uteplyty zymove vzuttya za «kopiiky» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.volyn.com.ua/news/119839-shchob-vashym-noham-bulo-teplishe>
3. Stelki obuvnye, termo stelki naturalnye s folgoj [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <https://ua.all.biz/stelki-obuvnye-termo-stelki-naturalnye-s-folgoj-g2481555>
4. 7 korisnih rechej dlya zimi, pro yaki Vi, mozhlivo, ne znali... [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://epicentrk.ua/ua/articles/7-poleznykh-veshchey.html>
5. Termostelki, stelki s podogrevom odnorazovye [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://elektroprostyn.ukr/termostelki-krasnue.html>
6. Termostelki s podogrevom besprovodnye [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/2100ma-termo-stelki-podogrevom-akkumulyator-besprovodnye-pult-lyzhnye-IDJatRB.html>
7. Stelky s podohrevom SNEGIRI ot Rowerbank [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/stelki-s-podogrevom-snegiri-ot-powerbank-eto-ne-massazher-tonometr-IDJfg7F.html>
8. Samokleiushchiesya hrelky dlia ruk, noh, termostelky, stelky s podohrevom [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/samokleyushchiesya-grelki-dlya-ruk-nog-termostelki-stelki-s-podogrevom-IDBGTql.html>
9. Stelky Hermaniya CRIVIT s podohrevom [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.olx.ua/uk/obyavlenie/stelki-germaniya-crivit-s-podogrevom-stelki-ustlki-z-pdgrvom-nov-IDFxdOl.html>
10. Zakon Oma dlia uchastka tsepy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://electricalschool.info/main/osnovy/1227-zakon-oma-dlja-uchastka-cepi.html>
11. Elektrychnyi opir. Zakon Oma dlia dilianky kola. 8 klas. Fyzyka. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://uroky.com.ua/elektrychnyj-opir-zakon-oma-dlja-diljanky-kola/>
12. Pysarenko H. S. Opir materialiv : pidruchnyk / H. S. Pysarenko, O. L. Kvitka, E. S. Umanskyi ; za red. H. S. Pysarenka. – 2-e vyd., dopov. i pererobl. – K. : Vyshcha shk., 2004. – 655 s. : il. – ISBN 966-642-056-2.

Надійшла/Paper received : 05.05.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

А.В. АНТОНЕНКО

ПВНЗ "Київський університет культури"

Т.В. БРОВЕНКО

ННІ Київський національний університет культури і мистецтв

О.В. ВАСИЛЕНКО, Ю.В. ЗЕМЛІНА

ПВНЗ "Київський університет культури"

Г.А. ТОЛОК, І.М. ГРИЩЕНКО

Київський національний університет культури і мистецтв

ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ У ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНИХ ЗАКУСОК

У статті обґрунтовано доцільність використання листя норі, адигейського сиру, вегетаріанського майонезу, насіння чіа, асафетиди та сухофруктів (чорнослив і курага) у технології вегетаріанського салату "VegoShuba". На основі технологічних відпрацювань розроблено технологію вегетаріанського салату "VegoShuba". В роботі наведено результати досліджень показників якості та розраховано хімічний склад розробленої страви. Розроблена страва "VegoShuba" порівняно з контрольним зразком має підвищену біологічну цінність за рахунок різноманітності інгредієнтів, які мають у своєму складі біологічно активні речовини та нутрієнти та є достойною альтернативою у вегетаріанській кухні. Розроблену страву "VegoShuba" може бути рекомендована для впровадження в закладах ресторанного господарства України.

Ключові слова: технологія, холодні закуски, салат, модельні композиції, хімічний склад.

ARTEM V. ANTONENKO

Kyiv University of Culture

TETIANA V. BROVENKO

Kyiv National University of Culture and Arts

OLENA V. VASILENKO, YULIA V. ZEMPLINA

Kyiv University of Culture

GALINA A. TOLOK, IGOR M. GRISCHENKO

Kyiv National University of Culture and Arts

USE OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS IN COLD SNACK TECHNOLOGY

The purpose of this research is to substantiate and develop the technology of vegetarian cold snacks "VegoShuba". The object of the study is the technology of salad with the addition of nori leaves, Adyghe cheese, sour cream, asafetida and dried fruits "VegoShuba". The article substantiates the expediency of using nori leaves, Adyghe cheese, vegetarian mayonnaise, chia seeds, asafetida and dried fruits (prunes and dried apricots) in the technology of vegetarian salad "VegoShuba". On the basis of technological developments the technology of vegetarian salad "VegoShuba" is developed. The paper presents the results of research on quality indicators and calculates the chemical composition of the developed dish. During technological tests in the prototypes, herring was replaced with nori leaves, eggs - with Adyghe cheese, mayonnaise - with sour cream with turmeric and black salt. The optimal amount of chia seeds, Adyghe cheese, asafetida and dried fruits was determined by organoleptic evaluation. After a study of organoleptic characteristics, it was determined that the highest organoleptic evaluation was obtained by experiment with the addition of chia seeds - 0.2 g, asafetida - 0.2 g, prunes - 3 g and dried apricots - 3 g. Analyzing the chemical composition of the vegetarian analogue of the classic dish "Herring under a fur coat" it is possible to observe considerable increase in the content of nutrients. Based on the analysis of the daily nutrient requirements of VegoShuba salad, there is an increase in the satisfaction of daily nutrient requirements, with the exception of vitamin B12. This dish can be recommended in the appropriate restaurants. Taking into account the research and calculations, a model of the quality of the developed dish was built, it reflects the percentage of nutrients in salads to the daily intake. Summarizing the results, we can conclude that the developed dish "VegoShuba" using nori leaves, Adyghe cheese, sour cream, chia seeds, asafetida and dried fruits in certain quantities have compared to the control sample increased biological value due to the variety of ingredients that have composition of biologically active substances and valuable nutrients, so it is a worthy alternative in vegetarian cuisine. The developed dish "VegoShuba" can be recommended for implementation in restaurants of Ukraine.

Keywords: technology, cold appetizers, salad, model compositions, chemical composition.

Постановка проблеми

Сучасні тенденції закладів ресторанного господарства дедалі більше спрямовуються у напрямку здорового та корисного харчування, вдосконалюються способи приготування страв. Одним з видів здорового харчування є вегетаріанство. Вегетаріанство – система харчування, яка виключає або обмежує споживання продуктів тваринного походження та поділяється на лакто-вегетаріанство (дозволяється вживання молочних продуктів), ово-вегетаріанство (дозволяється вживання яєць), лакто-ово-вегетаріанство (дозволяється вживання молока та яєць) і веганство (повне виключення продуктів тваринного походження). Вегетаріанство є більш популярним у західних та центральних областях України. Серед тих, хто все ж споживає тваринні продукти, більше як три мільйони людей свідомо зменшують кількість м'яса в своєму раціоні [1, 2].

За рахунок збільшення кількості споживачів, що надають перевагу вегетаріанським стравам, в Україні набирають популярності відповідні заклади ресторанного господарства. Для того, щоб пропонувати споживачам альтернативу класичним м'ясним та рибним стравам, а також при бажанні надавати можливість безпечно для здоров'я переходити на вегетаріанську їжу, необхідно розробляти відповідні страви та закуски, які мають свій неповторний смак та здатні задовольнити всі біологічні потреби людського організму. Ці страви можуть бути як повністю унікальними, так й адаптованими під класичні м'ясні та рибні страви, з

частковою або повною заміною тваринних продуктів. Такий підхід об'єднує в собі звичний та новий спосіб приготування їжі, психологічно полегшуючи перехід до вегетаріанства та веганства [3, 4].

Аналіз останніх джерел

Фундаментальними дослідженнями з розроблення харчових продуктів із використанням нетрадиційної сировини, займалися Е. Dickinson, R. Miller, B. S. Murray, P. Walstra, В. М. Измайлова, М. Ф. Кравченко, М. І. , А. І. Русанов, Ю. Г. Фролов, Е. Д. Щукін, прикладні дослідження набули подальшого розвитку в рамках наукових шкіл М. І. Пересічного, П.П. Пивоварова, О. О. Гринченко, О. Г. Іоргачевої, А.В. Зубченко, О.Н. Артемової та ін. Проте системних та узагальнюючих досліджень як фундаментального, так і прикладного характеру, спрямованих на одержання реструктурованих холодних закусок нами не виявлено. Аналіз літературних джерел показав відсутні чіткі уявлення про сумісне використання широкого асортименту нетрадиційної сировини білкової та полісахаридної природи у технології холодних закусок для закладів ресторанного господарства [1, 3–7].

Метою даної наукової роботи є обґрунтування та розроблення технології вегетаріанської холодної закуски "VegoShuba".

Об'єкт дослідження: технологія салату з додаванням листя норі, адигейського сиру, сметани, асафетиди та сухофруктів "VegoShuba".

Предмет дослідження: салат "Оселедець під шубою", салат "VegoShuba", листя норі, адигейський сир, насіння чіа, асафетиди та сухофрукти.

Методи дослідження: органолептичні, фізико-хімічні, порівняння, математичні обробки експериментальних даних на основі комп'ютерних технологій.

Виклад основного матеріалу

Холодна закуска "Оселедець під шубою" – багатосаровий салат з слабосолоного оселедця, відварених буряку, моркви, картоплі, свіжого яблука, заправляється майонезом. Інколи в салат додають також ріпчасту цибулю і відварене яйце. Страва має багатий вітамінний і мінеральний склад, в тому числі є джерелом надходження в організм вітамінів В, Е, А, РР, фолієвої кислоти, магнію, калію, марганцю, сірки, заліза. Проте, окрім оселедця та овочів, салат містить велику кількість майонезу, який, в свою чергу, є висококалорійним та жирним продуктом [1, 8]. Використання овочів, листя норі, сметани, сухофруктів та насіння чіа, дасть змогу створити вегетаріанський продукт підвищеної біологічної цінності.

Японські червоні водорості з роду *Porphyra* (норі) виробляють у вигляді тонких сушених листів. У розробленій страві листя норі використовують замість оселедця, оскільки вони мають наближений смак та аромат до рибних продуктів. Листя норі містить у своєму складі: йод, фосфор, кальцій, вітамін А, С, харчові волокна та $\omega 3$ жирні кислоти [3, 9].

Як джерело вітамінів групи В, А, С, Д, РР та мінеральних речовин: фосфор, натрій, калій, залізо, цинк, мідь використовується адигейський сир, який відноситься до групи м'яких сирів без дозрівання, виготовляється з пастеризованого молока з використанням кисломолочної сироватки для осадження білків молока. Крім того сир має збалансований амінокислотний склад. Адигейський сир вдало поєднується з листям норі, за смаком нагадує крем-сир, який використовують для приготування суші [7, 10].

Одним з сучасних видів сировини, яка використовується у технології є насіння чіа – це низькокалорійні зерна іспанської шавлії. Насіння чіа багате на $\omega 3$ жирні кислоти, головним чином, альфа-ліноленову кислоту, вітаміни А, С і Е, та мінеральні речовини: кальцій, фосфор, магній і марганець. Насіння чіа, маючи горіховий присмак, вдало поєднується з сухофруктами та буряком, нагадуючи домашній вітамінний салат. Також через багатий хімічний склад, а особливо через вміст великої кількості $\omega 3$ жирних кислот, насіння чіа можна використовувати як вегетаріанський замінець морепродуктам та яєчному жовтку [3, 11].

Асафетиди – одна з найважливіших спецій ведичної кулінарії, використовується замість цибулі і часнику, при цьому не залишаючи запаху. Її можна додавати в закуски, супи, овочеві страви і гарніри, салати. Майстри ведичної кулінарії рекомендують додавати її в невеликій кількості у важкі для шлунка страви, оскільки вона здатна пришвидшувати обмін речовин [7]. У рецептурі даної страви асафетиду додано до сметани, для приготування вегетаріанського майонезу.

Сухофрукти (висушені фрукти і ягоди) вважаються натуральним джерелом вітамінів і мікроелементів, вони містять вітаміни А і групи В, високу концентрацію глюкози, фруктози, клітковину, магній, кальцій, калій, фосфор, йод, залізо, натрій. Чорнослив містить органічні кислоти (щавлеву, лимонну, яблучну), клітковину, пектинові речовини, мінеральні речовини (калій, магній, фосфор, залізо), вуглеводи (фруктозу, сахарозу, глюкозу) та вітаміни (А, В, С, РР, Е). Курага – сухофрукт без кісточок, який одержують шляхом висушування плодів абрикоса, містить каротин (вітамін А), аскорбінову кислоту (вітамін С), ніотинову кислоту (вітамін РР) і вітаміни групи В (В1, В2, В5) та мінеральні речовини (калій, кальцій, магній, фосфор, залізо, мідь, марганець, кобальт) [7, 12].

За контроль обрано салат "Оселедець під шубою", виготовлений за традиційною технологією (рецепт №58) збірника рецептур страв української кухні. Під час технологічних відпрацювань у дослідних зразках оселедець замінено на листя норі (які викладаються через кожен новий шар), яйця – на адигейський сир (через кожен новий шар), майонез – на сметану з куркумою та чорною сіллю. Насіння чіа внесено замість яєчного жовтка у кількості 0,1 г, 0,3 г, 0,5 г. Асафетиду додано в кількості 0,1 г, 0,3 г, 0,5 г. Сухофрукти додають у кількості: чорнослив – 1 г, 2 г, 5 г; курагу – 1 г, 2 г, 5 г. Модельно-харчові композиції досліджуваної страви наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Модельно-харчові композиції салату "Оселедець під шубою" та "VegoShuba" (з використанням листя норі, адигейського сиру, сметани, насіння чіа, асафетиди та сухофруктів)

Найменування сировини	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
Оселедець	25	-	-	-
Картопля	15	15	15	15
Морква	15	15	15	15
Буряк	15	15	15	15
Яблука свіжі	10	10	10	10
Майонез	20	-	-	-
Листя норі	-	0,6	0,6	0,6
Адигейський сир	-	32,1	29,9	23,3
Сметана	-	10	10	10
Куркума	-	0,05	0,05	0,05
Чорна сіль	-	0,05	0,05	0,05
Насіння чіа	-	0,1	0,2	0,5
Асафетида	-	0,1	0,2	0,5
Чорнослив	-	1	3	5
Курага	-	1	3	5
Вихід, г	100,0	100	100	100

Шляхом проведення органолептичної оцінки визначалася оптимальна кількість насіння чіа, адигейського сиру, асафетиди та сухофруктів. У страву було додано різну кількість насіння чіа – від 0,1 до 0,5 г, адигейського сиру – від 23,3 до 32,1 г, асафетиди – від 0,1 до 0,5 г, чорносливу – від 1 до 5 г, кураги – від 1 до 5 г. Оскільки для салату основними показниками органолептичної оцінки є смак, запах та зовнішній вигляд, вони отримали більший коефіцієнт вагомості (табл. 2).

Таблиця 2

Органолептична оцінка модельно-харчових композицій вегетаріанського салату з додаванням насіння чіа, асафетиди та сухофруктів

Показник органолептичної оцінки	Коефіцієнт вагомості	Органолептична оцінка, бали			
		Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
Зовнішній вигляд	0,20	1	0,9	1	0,8
Консистенція	0,15	1	0,9	1	0,9
Смак	0,25	1	1	1	1
Запах	0,25	1	1	1	1
Колір	0,15	1	1	1	1
Органолептична оцінка	1,0	5	4,8	5	4,7

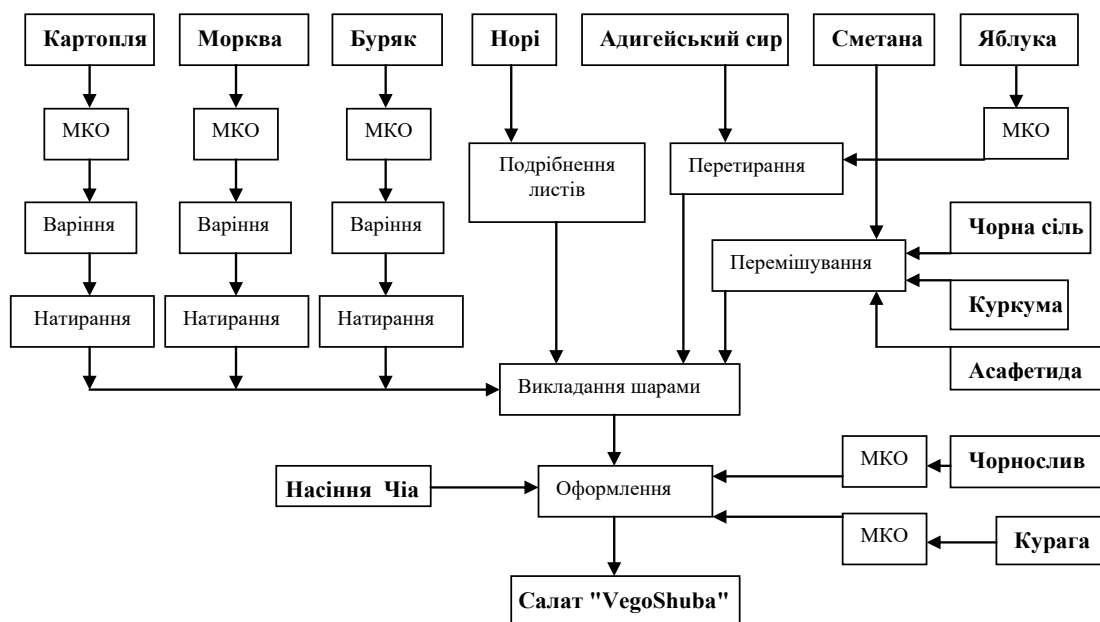


Рис. 1. Технологічна схема приготування салату "VegoShuba"

Після проведеного дослідження органолептичних показників визначено, що найвищу органолептичну оцінку отримав дослід з додаванням насіння чіа - 0,2 г, асафетиди - 0,2 г, чорносливу - 3 г та кураги - 3 г. Можна зробити висновок, що найбільш доцільним та кращим за органолептичними показниками є дослід 2.

Технологічна схема приготування салату "VegoShuba" наведена на рис. 1.

Визначено хімічний склад салату (табл. 3). Аналізуючи показники хімічного складу вегетаріанського аналогу класичної страви «Оселедець під шубою» можна спостерігати значне підвищення вмісту поживних речовин, проте зменшилась кількість вітаміну – В₁₂ (9%).

Таблиця 3

Аналіз хімічного складу салату "Еко-шуба", на 100 г

Назва показників	Салат "Оселедець під шубою"	Салат "Еко-шуба"	Відхилення, +,-	Відхилення, %
Білки, г	5,1	6,2	1,1	21,57
Жири, г	17,1	17,2	0,2	1,2
Вуглеводи, г	7,43	8,05	0,62	8,3
Харчові волокна, г	0,8	1,4	0,6	75
Вода, г	62,6	62,8	0,2	0,3
Холестерин, мг	76,5	30,1	46,4	154,15
Моно- та дисахариди, г	0,9	1,3	0,4	44,44
Крохмаль і декстрини, г	1,2	1,25	0,05	4,17
Енергетична цінність, ккал	209,5	209,8	0,4	0,2
<i>Макроелементи</i>				
Кальцій, мг	120	134	14	11,7
Магній, мг	22,7	22,8	0,1	0,4
Натрій, мг	274	285	11	4,01
Калій, мг	187	224,3	37,3	19,9
Фосфор, мг	136,9	140,2	3,3	2,4
<i>Мікроелементи</i>				
Залізо, мг	1,1	1,23	0,13	11,81
Йод, мкг	16,6	16,7	0,1	0,6
Мідь, мг	0,1	0,14	31	29,52
Цинк, мг	1,7	2,05	0,35	20,6
Марганець, мг	0,16	0,44	0,28	175
Фтор, мкг	139,7	140	0,7	0,5
<i>Вітаміни</i>				
Вітамін В1 (тіамін), мг	0,06	0,07	0,01	16,67
Вітамін В2 (рибофлавін), мг	0,2	0,24	0,04	20
Вітамін В4 (холін), мг	24,3	25,2	0,9	3,7
Вітамін В5, мг	0,5	0,5	0	0
Вітамін В6 (піридоксин), мг	0,2	0,28	0,08	40
Вітамін В12 (кобаламін), мкг	0,08	0,09	0,01	12,5
Вітамін А (РЕ), мкг	268	429	161	60,07
Бета-каротин, мкг	12	45	33	275
Вітамін С, г	3,3	6,2	2,9	87,9
Вітамін D, мкг	0,3	0,5	0,2	66,67
Вітамін Е, мг	4	4,1	0,001	0,2
Вітамін РР, мг	2,87	2,92	0,05	1,74
<i>Жири та жирні кислоти</i>				
Трансжири, г	0,5	0	0	100
ω ³ жирні кислоти, г	0,1	0,2	0,1	100
Ω ⁶ жирні кислоти, г	0,1	0,3	0,2	200
Насичені жирні кислоти, г	1,5	1,5	0	0
Мононенасичені жирні кислоти, г	0,2	0,6	0,4	200
Поліненасичені жирні кислоти, г	1,6	1,9	0,3	18,75
<i>Антиоксиданти</i>				
Флавоноїди (у вигляді флавонових глікозидів), мг	5	20,5	15,5	310
Пероксидаза, мг	19,75	50,3	30,55	154,68
Каталаза, мг	0,5	2,3	1,8	360
Антоціани, мг	8,5	32,55	24,05	282,94
Гліколіпіди, мг	4,3	30,4	26,1	606,9

Визначено відсоток задоволення добової потреби у поживних речовинах у салатах «Оселедець під шубою» та «VegoShuba».

Таблиця 4

Задоволення добових потреб у поживних речовинах на 100 г готової страви, у %

Поживні речовини	Добова потреба	Салат «Оселедець під шубою», %	Салат «Еко-шуба», %
Білки, г	80	4,6	5,6
Жири, г	65	26	26,4
Вуглеводи, г	450	4,6	5
<i>Вітаміни</i>			
Вітамін А, мг	1	26,8	42,9
Вітамін С, мг	90	3,7	6,9
Вітамін В1, мг	1,5	4	5
Вітамін В2, мг	2	10	12
Вітамін В12, мкг	0,3	26,7	30
Вітамін D, мкг	2,5	12	20
Вітамін Е, мг	10	40	41
<i>Мінеральні речовини</i>			
Кальцій, г	0,8	15	16,75
Фосфор, г	1,2	11,4	11,8
Мідь, мг	2	5	7
Магній, г	0,3	7,5	7,6
Калій, г	2,5	7,48	8,97
Залізо, мг	15	7,3	8,2
Цинк, мг	15	11,3	13,7
<i>Жири та жирні кислоти</i>			
ω^3 , г	1,2	8,3	16,7
Поліненасичені жирні кислоти	4,7	34	40

Виходячи аналізу забезпечення добової потреби у поживних речовинах салатів «Оселедець під шубою» та «VegoShuba» спостерігається підвищення задовольняє добові потреби у поживних речовинах, за винятком вітаміну В₁₂. Дану страву можна рекомендувати у відповідні заклади ресторанного господарства.

Враховуючи проведені дослідження і розрахунки було побудовано модель якості розробленої страви, у ній відображається відсоткове відношення кількості поживних речовин у салатах до добової норми споживання. Для побудови моделі було вибрано такі показники: кількість білків, вітаміни групи В (рибофлавін, кобаламін), вітамін С, ω^3 , поліненасичені жирні кислоти. Модель якості наведена на рис. 2.

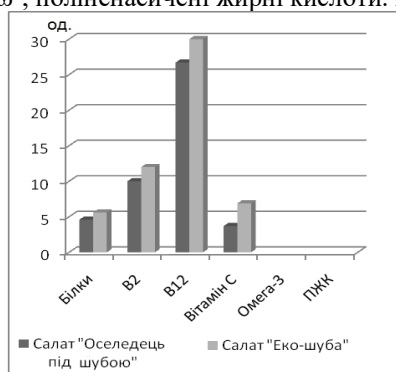


Рис. 2. Модель якості страви «VegoShuba»

Висновки

Підсумовуючи отримані результати, можна зробити висновок, що розроблена страва "VegoShuba" з використанням листя норі, адигейського сиру, сметани, насіння чіа, асафетиди та сухофруктів у визначених кількостях мають порівняно з контрольним зразком підвищену біологічну цінність за рахунок різноманітності інгредієнтів, які мають у своєму складі біологічно активні речовини та цінні нутрієнти, тому є достойною альтернативою у вегетаріанській кухні. Розроблену страву "VegoShuba" може бути рекомендована для впровадження в закладах ресторанного господарства України.

Література

1. Технологія харчових продуктів функціонального призначення : монографія / [Мазаракі А.А., Пересічний М.І., Кравченко М.Ф. та ін.]; за ред. М.І.Пересічного. – 2-е вид., переробл. та допов. – К. : Київ. нац. торг-екон. ун-т, 2012. – 1116 с.

2. Перспективные тренды развития науки: техника и технологии : в 2 книгах. К. 1 : монография / [авт. кол. : Львович И.Я., Некрасов В.А., Преображенский А.П. и др.]. – Одеса : КУПРИЕНКО СВ, 2016. – 197 с.
3. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення : у 2-х ч. Ч. 2 : монографія / О.І. Черевко, М.І. Пересічний, С.М. Пересічна та ін. ; за ред. О.І. Черевка, М.І. Пересічного; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – 4-е вид., переробл. та допов. – Харків : ХДУХТ, 2017. – 591 с.
4. Бровенко Т.В. Технологія приготування холодних закусок з підвищеним вмістом харчових волокон / Т.В. Бровенко, Г.А. Толлок, І.М. Грищенко // Науковий журнал «Вчені записки» ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки». – 2020. – Т. 31 (70). Ч. 2. № 6. – С. 58–65.
5. Кулінарологія : навч. посіб. : в 3. ч. Ч. 1 / М.М. Поплавський [та ін.] ; за ред. М.І. Пересічного. – Київ : Вид. центр КНУКіМ, 2018. – 301 с.
6. Грищенко І.М. Технологія і якість страв із овочів з використанням розторопші плямистої / І.М. Грищенко, Ю.В. Земліна, О.С. Ліфіренко // Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68) № 1. – С. 7–14.
7. Пересічний М.І. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення / Пересічний М.І., Кравченко М.Ф., Пересічна С.М. ; за ред. М.І. Пересічного. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – 772 с.
8. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business: collective monograph. Ed. by Doctor of Economic Sciences, Prof. Yatsenko V.M. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom, 2017. 619 p.
9. Теоретико-практичні підходи до ефективного функціонування ринку готельно-ресторанних послуг: стан, проблеми, тенденції : колективна монографія / за редакцією В.А. Русавської. – Київ : Видавництво Ліра-К, 2018. – 420 с.
10. Уровень развития техники и технологии в XXI веке. Часть 1: Серия монографий / [авт. кол. : М.В. Князева, В.М. Крамар, А.П. Преображенский и др.]. – Одеса : КУПРИЕНКО С.В., 2019. – 227с.
11. Инновационные технологии в жизни современного человека. Часть 3: Серия монографий / [авт. кол. : Т.В. Бровенко, Г.А. Толлок др.]. – Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2020. – 209 с.
12. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches / T. Brovenko, et. al. // Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв : наук. журнал. – К. : Міленіум, 2018. – № 2. – С. 91–94.

References

1. Tekhnolohiia kharchovykh produktiv funktsionalnogo pryznachennia : monohrafiia / [Mazaraki A.A., Peresichnyi M.I., Kravchenko M.F. ta in.] ; za red. M.I. Peresichnoho. – 2-e vyd., pererobl. ta dopov. – K. : Kyiv. nats. torh-ekon. un-t, 2012. – 1116 s.
2. Perspektivnye trendy razvitiia nauky: tekhnika y tekhnolohyy : v 2 knyakh. K. 1 : monohrafiia / [avt. kol. : Lvovych Y.Ia., Nekrasov V.A., Preobrazhenskiy A.P. y dr.]. – Odesa : KUPRYENKO SV, 2016. – 197 s.
3. Innovatsiini tekhnolohii kharchovoi produktsii funktsionalnogo pryznachennia : u 2-kh ch. Ch. 2 : monohrafiia / O.I. Cherevko, M.I. Peresichnyi, S.M. Peresichna ta in. ; za red. O.I. Cherevka, M.I. Peresichnoho; Khark. derzh. un-t kharch. ta torhivli. – 4-e vyd., pererobl. ta dopov. – Kharkiv : KhDUKht, 2017. – 591 s.
4. Brovenko T.V. Tekhnolohiia pryhotuvannia kholodnykh zakusok z pidvyshchenym vmistom kharchovykh volokon / T.V. Brovenko, H.A. Tolok, I.M. Hryshchenko // Naukovyi zhurnal «Vcheni zapysky» TNU im. V.I. Vernadskoho. Seria «Tekhnichni nauky». – 2020. – T. 31 (70). Ch. 2. № 6. – S. 58–65.
5. Kulinarolohiia : navch. posib. : v 3. ch. Ch. 1 / M.M. Poplavskiy [ta in.] ; za red. M.I. Peresichnoho.-Kyiv : Vyd. tsentr KNUKiM, 2018. – 301 s.
6. Hryshchenko I.M. Tekhnolohiia i yakist stрав iz ovochiv z vykorystanniam roztoropshi pliamystoi / I.M. Hryshchenko, Yu.V. Zemlina, O.S. Lifirenko // Naukovyi zhurnal «Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seria : Tekhnichni nauky. – 2018. – Tom 29 (68) № 1. – S. 7–14.
7. Peresichnyi M.I. Zbirnyk retseptur kulinarnoi produktsii i napoiv funktsionalnogo pryznachennia / Peresichnyi M.I., Kravchenko M.F., Peresichna S.M. ; za red. M.I. Peresichnoho. – K. : Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2012. – 772 s.
8. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business: collective monograph. Ed. by Doctor of Economic Sciences, Prof. Yatsenko V.M. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom, 2017. 619 p.
9. Teoretyko-praktychni pidkhody do efektyvnogo funktsionuvannia rynku hotelno-restorannykh posluh: stan, problemy, tendentsii : kolektyvna monohrafiia / za redaktsiieiu V.A. Rusavskoi. – Kyiv : Vydavnytstvo Lira-K, 2018. – 420 s.
10. Uroven razvitiia tekhniky y tekhnolohyy v KhKhI veke. Chast 1: Seryia monohrafiy / [avt. kol. : M.V. Kniazeva, V.M. Kramar, A.P. Preobrazhenskiy y dr.]. – Odesa : KUPRYENKO S.V., 2019. – 227s.
11. Ynnovatsyonnye tekhnolohyy v zhyzny sovremennoho cheloveka. Chast 3: Seryia monohrafiy / [avt. kol. : T.V. Brovenko, H.A. Tolok dr.]. – Odessa : KUPRYENKO SV, 2020. – 209 s.
12. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches / T. Brovenko, et. al. // Visnyk Natsionalnoi akademii kerivnykh kadrov kultury i mystetstv : nauk. zhurnal. – K. : Milenium, 2018. – № 2. – S. 91–94.

АНТОНЕНКО А. В.
БРОВЕНКО Т. В.
ВАСИЛЕНКО О. В.
ЗЕМЛІНА Ю. В.
ТОЛОК Г. А.
ГРИЩЕНКО І. М.

ORCID ID: 0000-0001-9397-1209
 ORCID ID: 0000-0003-1552-2103
 ORCID ID: 0000-0003-4097-7476
 ORCID ID: 0000-0003-0194-9472
 ORCID ID: 0000-0002-2971-1645
 ORCID ID: 0000-0001-9134-8456

artem.v.antonenko@gmail.com
 e-mail: brovenko@ukr.net
 terlen@ukr.net
 e-mail: kutep_julia@ukr.net
 e-mail: tga27@ukr.net
 e-mail: grinnikol022@ gmail.com

Надійшла/Paper received : 24.03.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

О.О. КОРОТИЧ, В.С. НЕЙМАК, А.М. ЗАЛІЗЕЦЬКИЙ

Хмельницький національний університет

Н.М. ЗАЩЕПКИНА

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

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ ВІТРИНИ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

Розроблено лабораторну установку для дослідження і порівняльного аналізу експлуатаційних температурно-енергетичних характеристик холодильних вітрин з автоматизованою і неавтоматизованою системами контролю режимів набору холоду та відтавання. Визначені переваги автоматичної системи керування з процесорним блоком управління, що впроваджена у лабораторну установку, і підтверджує можливість точного регулювання температури в розширеному діапазоні режимів охолодження та циклічного процесу відтавання та регулювання процесом дроселювання холодагенту у випарнику.

Ключові слова: лабораторна установка, холодильна вітрина, конструктивні елементи, автоматизована система керування, процес відтавання, дроселювання, докипач, гідроудар, температурно-енергетичні характеристики.

OLHA O. KOROTYCH, VITALII S. NEIMAK, ANATOLII M. ZALIZETSKYI

Khmelnytskyi National University

NATALIYA M. ZASHCHEPKINA

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

DEVELOPMENT OF LABORATORY INSTALLATION FOR RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF THE ADVANCED REFRIGERATING SHOWCASE WITH AUTOMATED CONTROL SYSTEM

The article describes the stages of development of a laboratory installation for research and analysis of operational temperature and energy characteristics of refrigerated display cases with automated and non-automated control systems for cold set and thawing.

The main elements of the developed laboratory installation are: 1) Refrigerating show-window of TATIANA 1.0NS type which components are systems: cooling, control, and thawing. 2) Processor control unit - Eliwell ID controller is equipped with a digital screen, has inputs for two temperature sensors RTS or NTC and three output relays to control the refrigeration compressor, fan and temperature process of the thawing cycle. The processor unit also provides control of the process of throttling the refrigerant in the evaporator to prevent water hammer in the motor-compressor of the refrigeration unit showcase 3) Flexible electric heater built into the evaporator to provide faster heating during automatic thawing. 4) System of forced air cooling of the condenser.

The automatic control system with the processor control unit, which is implemented in the laboratory unit instead of the standard thermostat, provides precise temperature control in an extended range of cooling modes and cyclic thawing process. The showcase works in a stable and economical mode.

The operating laboratory installation for research of parameters of the improved refrigerating show-window with the automated control system is developed and equipped. The laboratory refrigeration unit is equipped with devices for measuring and controlling electrical and energy parameters, temperature and humidity in the refrigeration chamber of the shop window during the study of cooling and defrosting modes.

With an automatic control system in the shop windows, food products can be stored constantly without spending time on overloading them during the thawing of the evaporator.

The developed operating laboratory installation can be used in the educational process for research and comparative analysis of operational temperature and energy characteristics of refrigerated display cases with automated and non-automated control systems for cold storage and defrosting.

Key words: laboratory installation, refrigerating show-window, constructive elements, automated control system, thawing process, temperature characteristics, throttling, boiler, hydraulic shock, temperature and energy characteristics

Постановка проблеми

Серед численних побутових приладів, що полегшують працю і підвищують культуру домашнього господарства та приватної торгівлі харчовими продуктами особливо важливе значення мають холодильники та холодильні вітрини. За останні роки було створено масове виробництво складних холодильних приладів – холодильних вітрин [1–6]. Холодильна вітрина (ХВ) – це устаткування, що встановлено у торговому приміщенні на прилавку, як для демонстрації харчових продуктів при їх продажу, так і для їх нетривалого зберігання. Лицьова і бічні сторони вітрини закриті перегородками із скла, а зі сторони продавця знаходяться розсувні скляні дверці і робочий стіл. Прилавок, розташований внизу вітрини, призначений для більш тривалого зберігання харчових продуктів, має теплоізоляцію і теплоізовані дверці, що щільно закриваються, зі швидкодіючим замком [5].

Для успішного вирішення проблеми придбання і використання населенням свіжих і заморожених високоякісних продуктів разом із збільшенням виробництва холодильної техніки необхідно встановити і її оптимальні характеристики:

- оптимальний рівень температур, що забезпечує одночасне зберігання різних видів продуктів;
- місткості холодильників різних типів, стосовно потреб різних категорій населення;
- співвідношення ємностей з холодильними і низькотемпературними (морозильними) камерами;
- експлуатаційні температурно-енергетичні характеристики процесів набору холоду і відтавання

у холодильному торговому устаткуванні;

- дослідження і контроль температурних режимів і їх вплив на технологію демонстрації і зберігання харчових продуктів у холодильних вітринах.

Аналіз останніх джерел

Згідно аналізу літературних джерел великого асортименту торгових вітрин [3, 4, 5], відповідно їх класифікації, як предмет дослідження, нами обрано одноярусну, закриту, що встановлюється на робочому місці продавця вітрину, з вбудованим холодильним агрегатом. Велике значення характеристик якісної роботи таких вітрин грають їх системи охолодження і розморожування (відтавання випарника) в процесі зберігання харчових продуктів у вітрині до їх продажу. Залежно від цього вітрина може бути призначена для короткочасного зберігання та демонстрації продуктів, що викликає ряд суттєвих недоліків коли система відтавання неавтоматизована.

В технічних даних холодильних вітрин, які не оснащені автоматичною системою керування [3, 4], вказано, що при роботі вітрини необхідно періодично забезпечити процес відтавання випарника, для чого продавець має відключати холодильний агрегат від мережі на деякий термін через кожні чотири, п'ять годин, або ж на ніч. Під час відтавання поверхні випарника харчові продукти повністю забираються з виставочної площі вітрини і перевантажуються в іншу холодильну установку. Це суттєвий експлуатаційний недолік, який призводить до витрат часу на перевантаження продуктів і прибирання вітрини, незручність, необхідність використання іншого обладнання, і втрата товарного вигляду харчових продуктів.

Під час роботи вітрини у режимі охолодження, волога яка міститься у продуктах частково випаровується і у вигляді інею намерзає на випарнику. Поступово іній перетворюється у кригу, яку потрібно видалити з випарника способом відтавання. Якщо не провести цикл відтавання, то ребра випарника повністю запаковуються інієм та кригою і крізь них не зможе проходити і охолоджуватись повітря, а внаслідок і продукти, що знаходяться у вітрині.

Але ще більш небезпечно те, що температура “запакованого” випарника нижча за температуру кипіння холодагенту, він не встигає випітати, поступово проходячи по випарнику, і потрапляє у докипач, у якому має докипіти примусово [1, 2]. Вкрай небезпечно допустити обмерзання докипача, тоді у циліндр мотор-компресора попаде рідкий хладон, замість газоподібного і може виникнути гідроудар, який призведе до виходу з ладу мотор-компресора, що в свою чергу, призведе до повного капітального ремонту та чистки системи. Таке може відбуватись коли відтавання не проводилось близько 20 годин, а якщо докипач був би відсутній, тоді достатньо 10 годин [2].

Важливо не пропустити час відтавання і проводити його регулярно за графіком. Щоб виключити суб'єктивний фактор, необхідно встановити автоматичну систему керування режимів охолодження і відтавання вітрини.

Нами поставлена актуальна задача – забезпечення можливості лабораторного дослідження холодильної вітрини з автоматичною системою керування холодильними і тепловими процесами для визначення переваг і недоліків характеристик вітрин до і після удосконалення.

Основні етапи вирішення поставленої задачі:

- показати і підтвердити переваги автоматичної системи керування режимами роботи холодильних вітрин;
- підтвердити можливість модернізації простої середньо-температурної вітрини на універсальну;
- розробити лабораторну установку для дослідження характеристик удосконаленої холодильної вітрини з автоматизованою системою керування і контролю режимів набору холоду та відтавання випарника;
- визначити вплив характеристик режимів відтавання на технологію зберігання харчових продуктів у холодильних вітринах.

Виклад основного матеріалу

Розроблена лабораторна установка (рис. 1) призначена для дослідження температурно-енергетичних характеристик холодильної вітрини, що оснащена автоматичною системою керування процесами охолодження і відтавання випарника. Лабораторна установка конструктивно виконана на базі холодильної торгової вітрини TATIANA 1.0 NS відомого польського виробництва фірми IGLOO [6], яку удосконалено автоматичною системою управління процесами набору холоду і необхідного періодичного відтавання. До удосконалення холодильна вітрина TATIANA 1.0 NS мала найпростішу комплектацію, у якій була відсутня автоматика, керувалась електронним регулятором температури типу RT-15P1W. Температурний режим ($t=+3...+7^{\circ}\text{C}$) регулювався положенням ручки термостату. Максимальне електричне навантаження – 10 А [6]. Процес розморожування (відтавання) вітрини залежав від особи, яка вимикала її від мережі, через кожні чотири, п'ять годин, чи на ніч.

Відсутність автоматичного контролю і управління процесом відтавання випарника викликала небезпеку гідроудару холодильної системи. А під час відтавання поверхні випарника продукти з вітрини мали повністю прибиратись і перевантажуватись в інший холодильник, що викликало суттєві недоліки описані вище.

Розроблена лабораторна установка, базовим елементом якої є удосконалена холодильна вітрина, перетворена з простої середньотемпературної в універсальну шляхом проведення повної автоматизації режимів роботи, отримала ряд нових якостей, які ми маємо підтвердити при дослідженнях в учбовій

лабораторії.

Розроблена структурна блок-схема лабораторної холодильної установки (рис. 1) показує взаємозв'язок елементів досліджуваних її функціональних систем: охолодження, відтавання, управління, теплоізоляції.

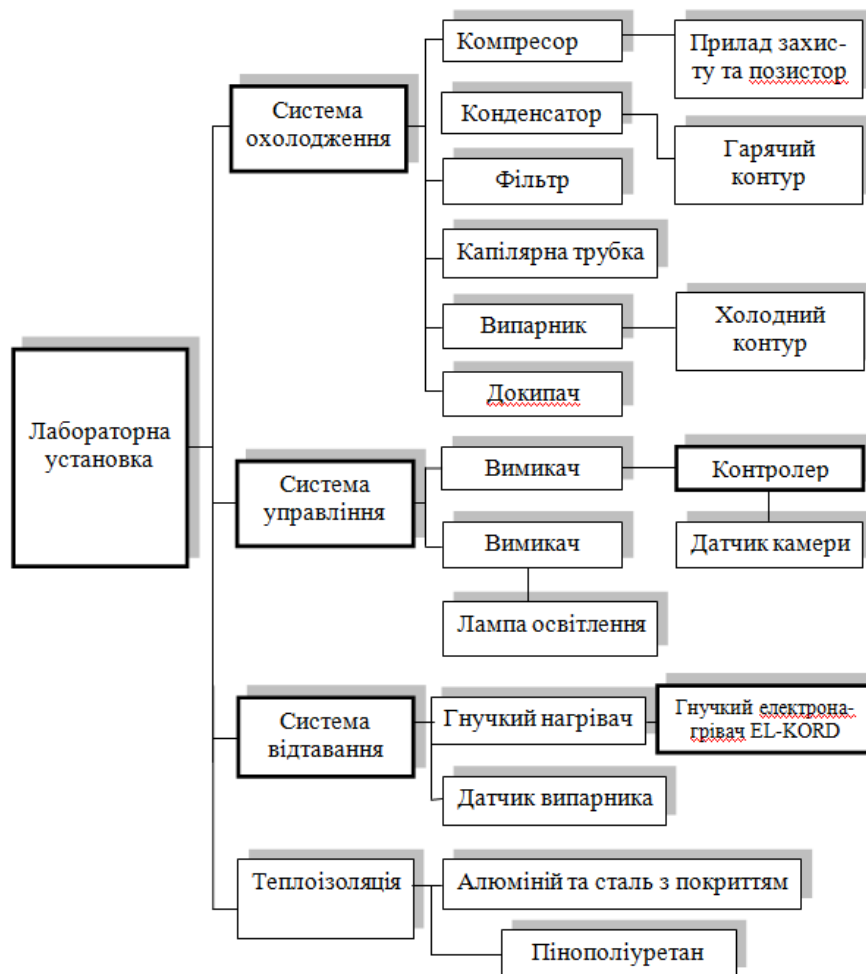


Рис. 1. Структурна схема лабораторної холодильної установки, що розроблена

Технічна характеристика лабораторної холодильної установки наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні дані лабораторної холодильної установки

Номинальна напруга, В	230	номинальна потужність, Вт	140
частота мережі, Гц	50	холодоагент – R 134A, доза в кг	0,15
номинальна потужність освітлення, Вт	18	виставкова площа, м ²	0,5
корисна місткість, см ³	90	довжина, мм	990
споживання електроенергії, кВт/24 г	1,1	висота, мм	730
діапазон температур, °C	+2/+8	глибина, мм	945
потужність охолодження, Вт	240	вага устаткування, кг	40
температура випарника, t _в , °C	-10	максимальне завантаження продукції, кг	30

Система охолодження вітрини лабораторної установки являється основним конструктивним вузлом – це герметичний холодильний агрегат, в склад якого входить мотор-компресор, конденсатор з електродвигуном обдуву і крилаткою (системи примусового повітряного охолодження конденсатора), фільтр-осушувальний патрон з капілярною трубкою, що розташовані у корпусі установки із зовнішньої сторони холодильної камери, та випарника з докипачем, розташованого всередині холодильної камери (рисунки: 1 і 2 а), [7, 11].

Лабораторна установка оснащена приладами вимірювання і контролю електричних і енергетичних параметрів, температури і вологості у холодильній камері вітрини для дослідження режимів охолодження і відтавання (рис. 2 а, б), [10].

Корпус лабораторної вітрини виготовлений з листової оцинкованої сталі, окрашеної антикорозійною фарбою, внутрішня частина холодильної камери виготовлені із високоякісного алюмінію і

теплоізолювана пінополіуретаном. Підсвічування вітрини здійснюється люмінесцентними лампами. Стільниця виготовлена з харчової нержавіючої сталі (рис. 2 а, б).



а)



б)

Рис. 2. Розроблена лабораторна установки для дослідження параметрів удосконаленої холодильної вітрини з автоматизованою системою керування: а) лабораторна холодильна установка-вітрина; б) показники температурних параметрів на світловому табло контролера, зворотня панель холодильної вітрини

В розробленій лабораторній установці з автоматизованою системою керування і контролю режимів охолодження і розморожування забезпечено: точне регулювання температури в широкому діапазоні у ХВ; автоматичне своєчасне циклічне відтавання випарника, що дає можливість запобігти обмерзання випарника і докипача та уникнути гідроудару у мотор-компресорі; демонстрацію і тривале зберігання продуктів у холодильній вітрині без їх перевантаження; роботу вітрини у стабільному режимі.

Головним керуючим приладом в системі охолодження і нагріву (при відтаванні випарника) лабораторної вітрини є блок управління (контролер) [8, 9]. Саме він керує роботою вузлів холодопостачання у вітрині. Процесорний блок управління, контролер температурного режиму роботи вітрини (рис. 3), вмонтовано замість стандартного терморегулятора.

Наряду з автоматичним керуванням температурними режимами блок управління керує процесом дроселювання холодагенту у випарнику. Обладнаний цифровим екраном контролер показує температуру при всіх процесах роботи вітрини, тобто режимів роботи мотор-компресора, вентилятора, електронагрівача випарника та всього циклу відтавання. Дисплей процесорного блоку управління, кнопка пуску лабораторної вітрини та контрольні термометри розташовані на зворотній панелі вітрини (рис. 2 б).

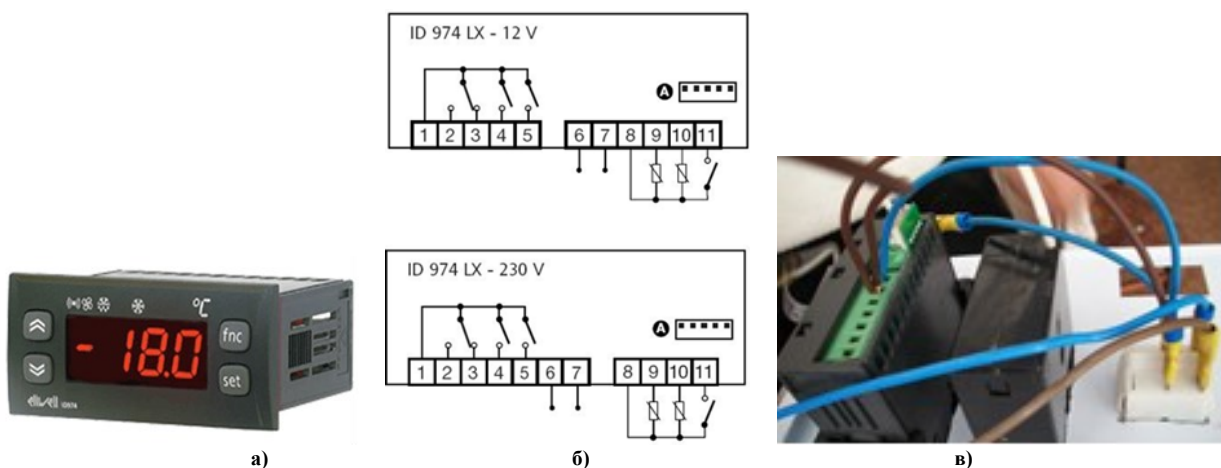


Рис. 3. Монтаж автоматичної системи управління у лабораторну установку: а) контролер Eliwell ID 974 ; б) схема підключення; в) підключення елементів контролера

У лабораторній установці для дослідження параметрів холодильної вітрини, що удосконалена автоматичною системою управління процесами набору холоду і режимами відтавання, вмонтовано процесорний блок управління – контролер Eliwell ID-974 (рис. 3) призначений для вентильованих холодильних установок середньої і низької температури, застосовується для контролю температури, управління роботою холодильного компресора і режимами відтавання в торговому і промисловому

холодильному устаткуванні [8, 9]. Температурний режим: $(-100 + 100)^\circ\text{C}$.

На рисунку 3 показано монтаж автоматичної системи керування у лабораторну установку, підключення елементів контролера (рис. 3 в) за схемою на 230 В (рис. 3 б). Eliwell ID 974 [8] (виробництва Invensys, Італія) забезпечений входом під два температурні датчики РТС або NTC і три вихідні реле з навантаженням у 8 А (рис. 3 б, в) для управління холодильним компресором, вентилятором і режимами розморожування (відтавання) випарника. Фіксоване датчиком значення відображається на 3-цифровому дисплеї із знаком мінус (рис. 3 а, 2 б). Eliwell ID 974 має порт TTL, який використовується для швидкого програмування приладу за допомогою спеціальної картки копіювання.

Регулювання температурного режиму, що виконується контролером потрібно програмувати згідно температури зберігання продуктів. Важливо точно виставити диференціал (поле діапазону між температурами увімкнення та вимкнення). Диференціал потрібно виставляти для забезпечення стоянки компресора коли вирівнюється тиск у системі, докипає холодоагент і змінює свій агрегатний стан з рідкого на пароподібний.

При запуску холодильної вітрини контролер тестує і перевіряє стан напруги та стабільність усіх параметрів програмування. Ця затримка може продовжуватись до трьох хвилин. Якщо температура у вітрині вища заданої у програмі, запускається компресор [9]. Тобто, якщо у вітрині запрограмована нижня температурна точка мінус два, тоді компресор буде понижати температуру до мінус двох градусів. Коли він досягне заданої температури контролер вимкне компресор. Якщо диференціал у програмі становить, наприклад, шість градусів, компресор запуститься при плюс чотирьох і буде працювати у такому циклі роботи постійно до відтайки. Відтавання випарника відбудеться автоматично з моменту запуску вітрини тобто, наприклад, через п'ять годин на період 10–15 хвилин відтавання. Температура кінця розморожування теж виставляється програмуванням контролеру.

У холодильному агрегаті лабораторної вітрини встановлено ребристо-трубчастий випарник фірми SEST (Італія) [11] (рис. 4) – це теплообмінний апарат, призначений для відведення теплоти від охолоджуваного тіла і передачі її киплячому холодильному агенту. Для захисту мотор-компресора від гідроудару на виході з випарника вмонтовано докипач (рис. 4 б). Докипач потрібен для швидшого докипання хладону, який не до кінця докипів у випарнику, цим самим захищатиме клапани мотор-компресора від гідроудару. Докипач простий порожнистий циліндр, по якому проходить пара або парорідина суміш хладону. Діаметр циліндра докипача у декілька разів перевищує діаметр трубки всмоктування.

Випарник складається з мідних трубок діаметром 9,52 мм або 12,0 мм, і насаджених на них алюмінієвих пластин (ламелей) завтовшки 0,2 мм. Щільна насадка ламелей досягається шляхом розширення труб зсередини. Трубки сполучені між собою U-подібними мідними калачами. З'єднання трубок і калачів виконане методом пайки.

Для забезпечення прискореного циклічного режиму відтавання при відключеному компресорі, у лабораторну установку разом із запровадженою системою автоматичного управління встановлено гнучкий електронагрівач (ГЕН), який обвитий навколо ребристо-трубчастого випарника (рис. 4 а, б).

Харчові продукти при автоматичному відтаванні не встигають нагрітись у вітрині, як уже знову починають охолоджуватись. Налаштований блок управління, автоматично зчитує температурні дані датчиками з випарника та салону вітрини. Одна з самих важливих властивостей контролера і ГЕНа випарника – це можливість відтавання снігової шуби при мінусовій температурі.

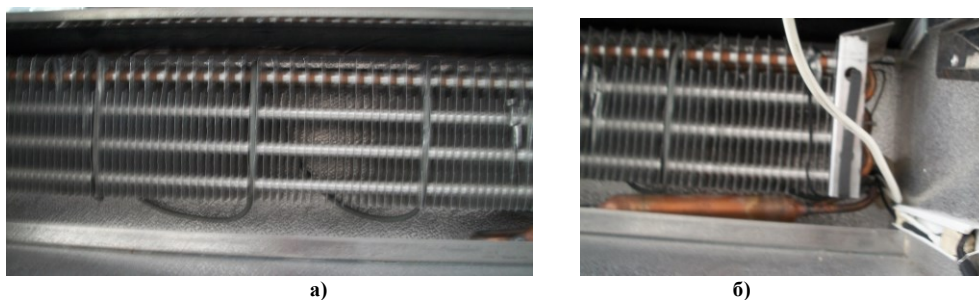
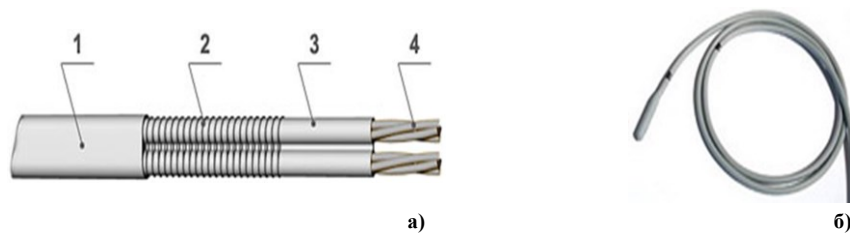


Рис. 4. Встановлення гнучкого електронагрівача на випарник і приспінання до контролера
а) гнучкий електронагрівач, обвитий навколо випарника; б) випарник з мідним докипачем

Нагрівач гнучкий EL-KORD [12] виконаний у вигляді пласкої стрічки з зовнішнім шаром кремнійорганічної гуми (рис. 5), застосовується переважно для нагріву емностей нестандартної форми або труб з рідинами і для запобігання їх замерзанню (рис. 5 а, б), може використовуватися при попаданні на нагрівач води або снігу.



1 – оболонка з кремнійорганічної гуми; 2 - дріт опору; 3 - ізоляція з кремнійорганічної гуми; 4 - струмові контакти з лудженої міді

Рис. 5. Електронагрівач гнучкий типу EL-KORD: а) будова електронагрівача, б) загальний вид гнучкого електронагрівача

Основні характеристики гнучкого нагрівача EL-KORD: номінальна напруга 230В; довжина 2 метри; потужність 40 Вт; максимальна температура нагріву 80°C [12]. Після встановлення ГЕНа у випарник (рис. 4), відтавання проходить лише за 10–15 хвилин.

За допомогою програмування контролера період відтавання можливий як з гнучким електронагрівачем, так і без нього, наприклад для економії електроенергії, але ГЕН також використовує мінімум споживаної електроенергії. Контролер програмується під кількість відтавань на добу, тобто через п'ять годин на термін відтавання у п'ятнадцять, двадцять хвилин.

Особливо відповідальним вузлом холодильного агрегату лабораторної установки є одноциліндровий герметичний компресор LUnite Hermetique THB1350YS [13] (країна виробник Франція) призначений для холодильного обладнання, низькотемпературних прилавків і вітрин із встановленою електричною потужністю електродвигуна від 60 Вт до 150 Вт. Напруга живлення однофазна 220–240 В або 208–220 В. Для захисту від перегрівання двигун має зовнішнє теплове реле. Моделі THB є аналогами герметичних холодильних компресорів AZ, але при цьому мають більш високий ККД і значно менший рівень шуму.

Привід компресорів марки THB1350YS (рис. 6, 7) може бути виконаний або від електродвигуна з малим пусковим моментом (двигуни з постійно розщепленою фазою типу PTCSIR, або RSIR з універсальним пусковим пристроєм, або електромеханічним реле), для холодильних установок, працюючих з капілярною трубою в якості розширювального пристрою, або від електродвигуна з конденсаторним пуском типу CSIR для установок з терморегулюючим клапаном. На рисунку 7 зображена схема пускового підключення компресора THB1350YS [14].



Рис. 6. Мотор-компресор THB1350YS

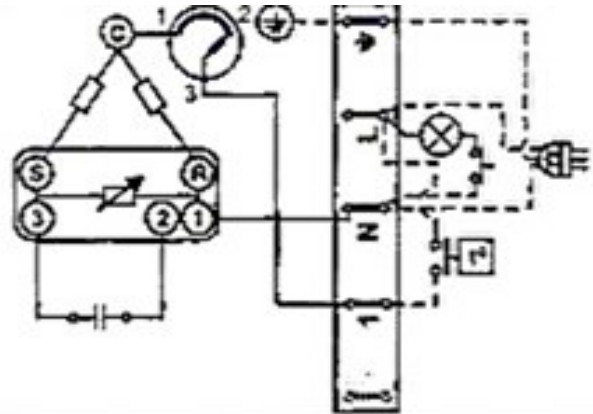


Рис. 7. Електрична схема запуску компресора THB1350YS

При роботі компресора він не вимагає примусового повітряного охолодження. Способи охолодження мастила, вживані в цих поршневих герметичних холодильних компресорах забезпечують тривалий безвідмовний термін їх експлуатації.

У парі з компресором в лабораторній вітрині працює конденсатор LU-VE серії STFT (рис. 8) потужністю 400 Вт. Особливі безтрубні сталеві конденсатори зроблені за ексклюзивною технологією компанії LU-VE [15].

Агрегати, що мають максимальну продуктивність, порядку $Q_0=150$ ккал/год в сукупності з найменшими габаритними розмірами, призначені для застосування у холодильному торговому обладнанні. Компресорно-конденсаторні агрегати THB працюють з холодагентом R 134A.

Основні переваги конденсатора STFT: висока теплопродуктивність; стійкий до механічних дій; висока корозійна стійкість; низький рівень шуму.

У конденсаторах серії STFT лише один недолік – вони дуже швидко забиваються пилом та іншими забруднюючими частинками. Тому його потрібно чистити щомісяця. Для продування конденсатора використовується електродвигун з крилаткою типу ELCO NET3T 10ZVN001. Електродвигун кріпиться на дифузор (рис. 8), потім на двигун кріпиться крилатка і тоді кріпиться на конденсатор [16].

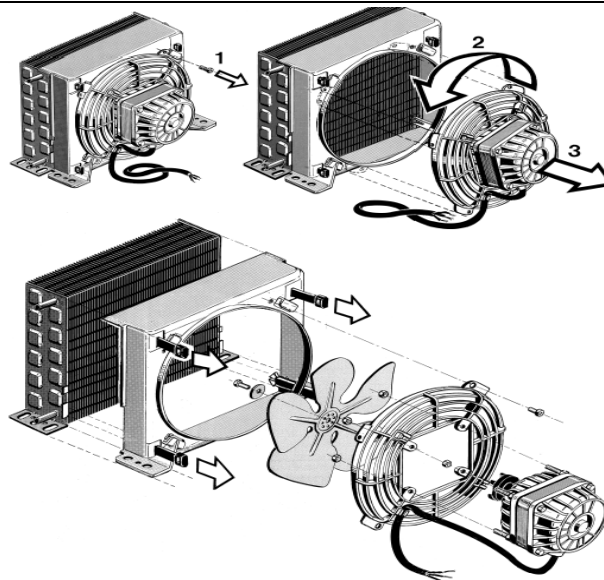


Рис. 8. Монтаж електродвигуна системи примусового повітряного охолодження конденсатора

Двигуни з розщепленими полюсами зроблені з алюмінію. Компанія ELCO також розробила серію крилаток з термопластику. Цей матеріал знижує деформацію лопатей і підвищує їх просторову стійкість, зберігаючи форму лопатей і забезпечуючи їх балансування.

Для оптимізації повітряного потоку та тиххідності у вітрині використовується п'ятилопатева алюмінієва крилатка. Крилатка діаметром 154 мм, з кутом нахилу лопатей від 19° до 34° для різних напрямків повітряного потоку. Швидкість обертання електродвигуна з крилаткою $n=1500$ об/хв. Електродвигун з крилаткою монтується та захищається сітчастим дифузором [16] (рис. 8). Дифузор відіграє роль рівномірного потоку конденсуючого повітря та захищає крилатку від механічних ушкоджень.

В розробленій лабораторій установці для дослідження характеристик удосконаленої холодильної вітрини.

з автоматизованою системою керування також пропонується використання комплектного приладу для контролю і вимірювання електричних і енергетичних параметрів, розробленого на кафедрі машин і апаратів електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету (рис. 9). При використанні даного комплектного приладу, підключеного до персонального комп'ютера, можливе фіксування значень вимірюваних електричних і енергетичних параметрів за певний термін під час зміни температурних режимів при роботі холодильного агрегату та електричних елементів установи.

Висновки

В результаті розробки лабораторної установки для дослідження робочих параметрів холодильної вітрини згідно поставленої мети було вирішено наступні задачі:

- удосконалена базова конструктивна частина лабораторної установки – холодильна вітрина, в яку впроваджено автоматичну систему керування роботою холодильного агрегату, вентиляторів системи обдуву конденсатора, гнучкого нагрівного елементу випарника і елементів електросхеми;
- підтверджена можливість модернізації простої середньо-температурної вітрини на універсальну;
- розроблено і обладнано діючу лабораторну установку для дослідження параметрів удосконаленої холодильної вітрини з автоматизованою системою керування;
- підтверджена перевага автоматичної системи керування процесом відтавання випарника ХВ;
- точне регулювання температури в широкому діапазоні;
- забезпечено стабільний і економний режим роботи та контроль циклів відтавання холодильної вітрини.

Робота процесорного блоку автоматичної системи управління, що забезпечує своєчасне циклічне відтавання випарника, дозволяє уникнути гідроудару у мотор-компресорі за рахунок керування процесом дроселювання хладону у випарнику.

Лабораторна холодильна установка оснащена приладами вимірювання і контролю електричних і енергетичних параметрів, температури і вологості у холодильній камері вітрини для дослідження режимів охолодження і відтавання.

Також в результаті досліджень і аналізу експлуатаційних температурних і енергетичних



Рис. 9. Лабораторна холодильна установка, оснащена комплектним приладом для вимірювання електричних і енергетичних параметрів

параметрів холодильних і теплових режимів у вітринах визначено переваги автоматичної системи керування, так як харчові продукти можуть постійно зберігатися і демонструватися у холодильних вітринах без витрати часу на їх перевантаження у процесі розморожування та заощадження споживаної енергії на їх зберігання у інших холодильних установках.

Розроблена діюча лабораторна установка може бути використана в навчальному процесі для дослідження і порівняльного аналізу експлуатаційних температурно-енергетичних характеристик холодильних вітрин з автоматизованою і неавтоматизованою системами контролю режимів набору холоду та відтавання.

Література

1. Курылев Е.С. Холодильные установки : учебник для вузов / Е.С. Курылев, В.В. Оносовский, Ю.Д. Румянцев. – Санкт-Петербург : Политехника, 2002. – 576 с.
2. Торговельне обладнання : підручник / А.А. Мазаракі, С.Л. Шаповал, І.І. Тарасенко, О.П. Шинкаренко ; за ред. А.А. Мазаракі. – Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2018. – 320 с.
3. Холодильные витрины для хранения продуктов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://olteba.com/ru/article/holodilnye_vitrini_dlya_hraneniya_produktov.
4. Холодильные прилавки-витрины – предназначение и конструкция [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://icecatalog.ru/stati/holodilnye-prilavki-vitrini-%E2%80%93-prednaznachenie-i-konstrukciya>.
5. Торговое холодильное оборудование (витрины, прилавки, шкафы и т.д.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ostrovknowledgebase.com/books.php?cat=books&srid=28>.
6. IGLOO (Польша). Виробник інноваційних та енергоекономічних холодильних виробів для торгівлі та гастрономії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.igloo.polish.ru/ua.html>.
7. Комплекующие для холодильного оборудования [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://holodprom.com.ua/komplektuyushie>.
8. Электронный блок управления Eliwell ID 974 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://prom.ua/p65170011-elektronnyj-blok-upravleniya.html?&primelead=MC41MQ>.
9. Инструкция для контроллера Eliwell ID 974 – Белфритекс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.belft.com/library/downloadfile.php?id_lib=3&id_libcat=5&id_libcont=16&filedownl=yes.
10. Основы метрологии та вимірювальної техніки : підручник : у 2 т. Т. 2. Вимірювальна техніка / [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик] ; за ред. Б. Стадника. – Львів : Видав. Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. – 656 с.
11. Холодильные агрегаты в конструкции холодильных витрин [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.frigodesign.ru/article/kholodilnye-agregaty-dlya-vitrin.php>.
12. Гибкие, ленточные нагреватели [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://intmax.com.ua/lentochnye_nagrevateli_i_nagrevatelnye_provoda.
13. Электрические подключения компрессоров L'UNITE HERMETIQUE [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://holodprom.com.ua/elektricheskie-podklyucheniya-kompressorov-lunite-hermetique.htm>.
14. Электрические схемы подключения компрессоров [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://forum.masterholoda.ru/tehnicheskaja-dokumentacija/elektricheskie-shemy-podklyucheniya-kompressorov/>.
15. Пластинчатые и ребристо-трубные конденсаторы воздушного охлаждения LU-VE [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://pholod.com.ua/catalog/plastinchatye-i-rebristo-trubnye-kondensatory-vozdushnogo-ohlazhdeniya-lu-ve/lu-ve>.
16. Двигатели обдува Elco [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://holodprom.com.ua/dvigateli-obduva-elco.html>.

References

1. Kurylev E.S. Holodilnye ustanovki : uchebnik dlya vuzov / E.S. Kurylev, V.V. Onosovskij, Yu.D. Rumyanecv. – Sankt-Peterburg : Politehnika, 2002. – 576 s.
2. Torhovelnne obladnannia : pidruchnyk / A.A. Mazarakі, S.L. Shapoval, I.I. Tarasenko, O.P. Shynkarenko ; za red. A.A. Mazarakі. – Kyiv : Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2018. – 320 s.
3. Holodilnye vitriny dlya hraneniya produktov [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : https://olteba.com/ru/article/holodilnye_vitrini_dlya_hraneniya_produktov.
4. Holodilnye prilavki-vitriny – prednaznachenie i konstrukciya [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://icecatalog.ru/stati/holodilnye-prilavki-vitrini-%E2%80%93-prednaznachenie-i-konstrukciya>.
5. Torgovoe holodilnoe oborudovanie (vitriny, prilavki, shkafy i t.d.) [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://www.ostrovknowledgebase.com/books.php?cat=books&srid=28>.
6. IGLOO (Polishcha). Vyrobnik innovatsiinykh ta enerhoekonomichnykh kholodylnykh vyrobiv dlia torhivli ta hastronomii [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.igloo.polish.ru/ua.html>.
7. Komplektuyushie dlya holodilnogo oborudovaniya [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://holodprom.com.ua/komplektuyushie>.
8. Elektronnyj blok upravleniya Eliwell ID 974 [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://prom.ua/p65170011-elektronnyj-blok-upravleniya.html?&primelead=MC41MQ>.
9. Ynstruktsiya dlia kontrollera Eliwell ID 974 – Belfryteks [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : http://www.belft.com/library/downloadfile.php?id_lib=3&id_libcat=5&id_libcont=16&filedownl=yes.

10. Osnovy metrolohii ta vymiriuvanoi tekhniki : pidruchnyk : u 2 t. T. 2. Vymiriuvalna tekhnika / [M. Dorozhovets, V. Motalo, B. Stadnyk, V. Vasyliuk, R. Borek, A. Kovalchuk] ; pa red. B. Stadnyka. – Lviv : Vydav. Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”, 2005. – 656 s.
11. Holodilnye agregaty v konstrukcii holodilnyh vitrin [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://www.frigodesign.ru/article/kholodilnye-agregaty-dlya-vitrin.php>.
12. Gibkie, lentochnye nagrevateli [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : https://intmax.com.ua/lentochnye_nagrevateli_i_nagrevatelnye_provoda.
13. Elektricheskie podklyucheniya kompressorov L'UNITE HERMETIQUE [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://holodprom.com.ua/elektricheskie-podklyucheniya-kompressorov-lunite-hermetique.htm>.
14. Elektricheskie shemy podklyucheniya kompressorov [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://forum.masterxoloda.ru/tehnicheskaja-dokumentacija/elektricheskie-shemy-podklyucheniya-kompressorov/>.
15. Plastinchatye i rebristo-trubnye kondensatory vozdušnogo ohlazhdeniya LU-VE [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://pholod.com.ua/catalog/plastinchatye-i-rebristo-trubnye-kondensatory-vozdušnogo-ohlazhdeniya-lu-ve/lu-ve>.
16. Dvyhately obduva » Elco [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu: <https://holodprom.com.ua/dvigateli-obduva-elco.html>.

КОРОТИЧ О.О.

ORCID ID: 0000-0002-7733-3095

olkorotych2017@gmail.com

ЗАЩЕПКИНА Н.М.

ORCID ID: 0000-0001-9397-6632

Nanic1604@gmail.com

НЕЙМАК В.С.

ORCID ID: 0000-0003-1204-3932

nejmakvit@gmail.com

ЗАЛІЗЕЦЬКИЙ А.М.

ORCID ID: 0000-0002-0914-0814

oks81mik@i.ua

Надійшла/Paper received : 24.03.2021 р.

Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

А.Л. СЛАВІНСЬКА, В.В. МИЦА
Хмельницький національний університет

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АСПЕКТ ГРУПУВАННЯ УНІФІКОВАНИХ ФОРМ РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА МОДЕЛЬ ВИРОБНИЧОГО ОДЯГУ

Досліджено механізм уніфікації форм робочої документації на моделі виробничого одягу за принципом модифікаційної селекції групових документів. Встановлені варіанти поєднань для міжтипової уніфікації кишень зі збереженням функціонального призначення.

Ключові слова: виробничий одяг, уніфікована форма, таблиця вимірів, матриця поєднань, модифікаційна селекція.

ALLA L. SLAVINSKA, VIKTORIYA V. MYTSA
Khmelnytskyi National University

FUNCTIONAL ASPECT OF GROUPING UNIFIED FORMS OF WORKING DOCUMENTATION ON THE MODEL OF PRODUCTION CLOTHING

The problem of unification of forms of technical description by grouping of types of clothes by functional purpose is investigated. An empirically substantiated empirical database of technical description for the analysis of the optimal version of the control information about the conformity of the sample-reference. Intertype unification is used in nodes not subordinated to the main size: overlays, pockets, collars, cuffs. The pockets are not subject to the size of the unified structural basis, so they are grouped into a module of types of pockets. The mechanism of detection of discrepancies in control measurements of models of a product between standard unified constructive bases and details of models of pockets is offered. The main feature of the basic unified structures is that when changing the design increase, the lengths of the sections change only at the level of the armhole, waist and bottom (files and backs). The lengths of the remaining segments remain constant. The basic bases of the pants design have a constant value of balance and a constant position of the horizontal design lines (waist, hips, knees, bottom). The choice of design and technological solutions given in the technical description on the model of trousers and overalls is made. A matrix of combinations of technical information for control of constant data in a group document is proposed. The module of sorting of forms of the technical description of foreign firms for fixing of unification of constructive and technological parameters of performance of the basic knots of a product is developed. The use in the forms of technical documentation of gradation of the level of quality on the basis of homogeneity of manufacturing technology is based on imitation of the general constructive elements. The results of the calculation of the repetition rate for waistwear confirm the homogeneity of the modifications and the affiliation of units that are not subject to the main size to the design document of the group.

Keywords: special clothes, uniform form, table of measurements, matrix of combinations, modification selection.

Постановка проблеми

У склад робочої документації на модель швейного виробу входить комплект лекал, технічний опис і зразок-еталон [1]. Діяльність більшості підприємств, які працюють за замовленнями інофірм, орієнтована на політику модифікації асортименту з позицій збереження конкурентоздатності. Структура і зміст технічної інформації в спеціальній документації інофірм відрізняється від нормативних форм технічного опису, регламентованого в Україні, і потребує аналітичного обґрунтування емпіричної бази даних Технічного опису (ТО). Регламентацію функціональних властивостей виробу забезпечує форма 3 «Таблиця вимірів виробу в готовому вигляді», за допомогою якої контролюють статичну відповідність. Склад і зміст інформації інших форм (4–7) залежить від замовника і виробника, однак розбіжність вимірювань в таблиці вимірів готового виробу в готовому вигляді конкретного розміру не досліджена [2]. Отже, параметрична і графічна інформація дублюється, що ускладнює створення упорядкованого матеріалу для виявлення оптимального варіанту конструктивних рішень вузлів за технологією виробництва.

Актуальність уніфікації форм технічного опису базується на групуванні видів одягу за функціональним призначенням. Враховуючи, що клас виробничого одягу є представницьким в діяльності швейної галузі, має чітко окреслені умови експлуатації і більш вузьке призначення, однотипність конструктивно-технологічного поєднання дозволяє відсортувати параметри уніфікації з позицій формування ключових модулів технічної інформації.

Аналіз останніх джерел

Розвиток комп'ютерних технологій в швейній промисловості ґрунтується на автоматизації процесу вибору прийнятного варіанту конструктивно-технологічного рішення виробничого одягу. Для цього застосовують ситуаційне моделювання на основі переліку проектних рішень, вибору конкретної професії, умов праці [3]. Платформа функціональності розглядає ітераційну модель масових налаштувань методом індексів «ефективності задоволення споживача» [4, 5]. Однак, алгоритм вибору матриці застосування проектного рішення не пояснює оптимальність техніко-економічних показників з позицій поєднання «умова-рішення».

Теоретичне обґрунтування уніфікації конструкцій спецодягу [6] реалізоване в практичному застосуванні базових конструкцій з уніфікованими прибавками (Pr) на вільне облягання в групах спеціального одягу. Однак консерватизм параметрів конструкцій не відповідає вимогам сьогодення в напрямках уніфікації і стандартизації конструкцій через розширення матеріалів, введення елементів стилю форменого одягу, поліваріантність крою. Структурна систематизація конструктивних поясів в межах конструктивних зон [7] дозволяє виділити базові уніфіковані конструкції для досліджень змін контрольних

вимірів різних моделей за умови збереження розміру виробу.

Метою роботи є підвищення ефективності застосування форм робочої документації на основі комплексної уніфікації функціональних вузлів за принципом модифікаційної селекції в групових документах.

Виклад основного матеріалу

Аналітичне дослідження практичних рекомендацій з розробки робочої документації на швейні виробу підтверджує наявність групових конструкторських документів у випадку розробки серії моделей на одній конструктивній основі [2].

Відповідно до чинних в Україні стандартів ДСТУ ГОСТ 25294:2005 і ДСТУ ГОСТ 25295:2005 основним регламентуючим документом є технічний опис, який містить 7 форм, три з яких є обов'язковими, як такі, що характеризують основні естетичні показники зразка моделі. Форми технічного опису інофірм відрізняються комплексним підходом до надання графічної інформації у поєднанні з кодовим позначенням швів і конструкції з'єднання з лицевого і виворотного боків для відтворення ескізу моделі. Окремо наведені конструкції застібки, кишень для виду спереду і ззаду в поетапному виконанні.

Застосування моделі типового представництва дозволяє удосконалити контроль етапів технологічної підготовки виробництва затвердженого зразка-еталона на засадах комплексної уніфікації в групах модифікаційних варіантів [8]. Дослідження комплексної уніфікації виконане для костюму виробничого одягу для чоловіків (куртка, штани) у стилі «description», моделі якого виготовлені в 2020 р. на ТОВ «СПЕЦПОШИВ» м. Рівне за замовленням фірми «Rofa» (Німеччина).

Вирішення задачі уніфікації конструкції в класі виробничого одягу передбачає наступні роботи:

- скорочення різновидності конструкцій одягу шляхом групування за функціональними вимогами;
- міжтипової уніфікації конструктивних елементів.

На першому рівні досліджені розбіжності вимірювань, наведених у таблиці вимірів готового виробу. У якості базового розміру обрано розмір 50, який відповідає антропометричним стандартам.

Основною особливістю базових уніфікованих конструкцій є те, що при зміні Пг змінюються довжини ділянок лише на рівні пройми, талії і низу (пілочки і спинки). Довжини решти відрізків залишаються постійними. Незмінним залишається контур верхньої частини окату. Базові основи конструкції штанів мають постійне значення балансу і постійне положення горизонтальних конструктивних ліній (талії, стегон, коліна, низу).

Модуль таблиці вимірів уніфікованої конструктивної основи поясних виробів (штани, напівкомбінезони) наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Контрольні виміри довжини і ширини поясного виробу (розмір 50)

Найменування місця вимірювання	Шифр моделі і назва виробу			Розбіжність, см	Допустиме граничне відхилення, см	Схема вимірів поясного виробу
	2652354 - штани	2652355 – напівкомбінезон	1552370 – напівкомбінезон			
1. Ширина по лінії талії 1/2, см	45,8	51,3	51,1	1,2-5,5	± 1,5	
2. Ширина по лінії стегон 1/2, см	56,9	57,7	57,9	1,2-0,8	± 2,0	
3. Довжина крокового шва, см	81,4	80,5	81,5	0,1-1,0	± 1,5	
4. Довжина бічного шва, см	106,6	108,2	109,1	0,9-1,6	± 1,5	
5. Ширина низу штанів, см	22,6	22,6	22,5	0,1-1,1	± 1,0	
6. Ширина штанів угорі, см	33,9	35,9	35,6	0,3-2,0	± 1,0	

Розбіжність величин вимірів і входження в граничне відхилення підтвердило застосування двох конструктивних основ, одна – для штанів, друга – для напівкомбінезону через різницю динамічної відповідності. У напівкомбінезоні розбіжність величин вимірів ширини складає 0,1-0,3 см, що відповідає допуску в етапах проектування [3]. Розбіжність довжин 0,9-1,0 см входить у граничне відхилення фірми-замовника. Моделі напівкомбінезонів мають уніфіковану конструктивну основу, яка підпорядкована основному розміру.

Міжтипова уніфікація застосовується у вузлах не підпорядкованих основному розміру: накладки, кишені, коміри, манжети. Кут нахилу в таких деталях визначають виходячи з умови, що кути нахилу ломаних ліній в одязі бувають не менше 30° і не більше 120° до вертикалі. Розміри нагрудної кишені, якщо вона призначена для документів і не пов'язана з виробничою діяльністю, визначають постійними для всіх

розмірів одягу.

Кишені не підпорядковані розміру уніфікованої конструктивної основи, отже їх можна згрупувати у модуль різновидів кишень (рис. 1).

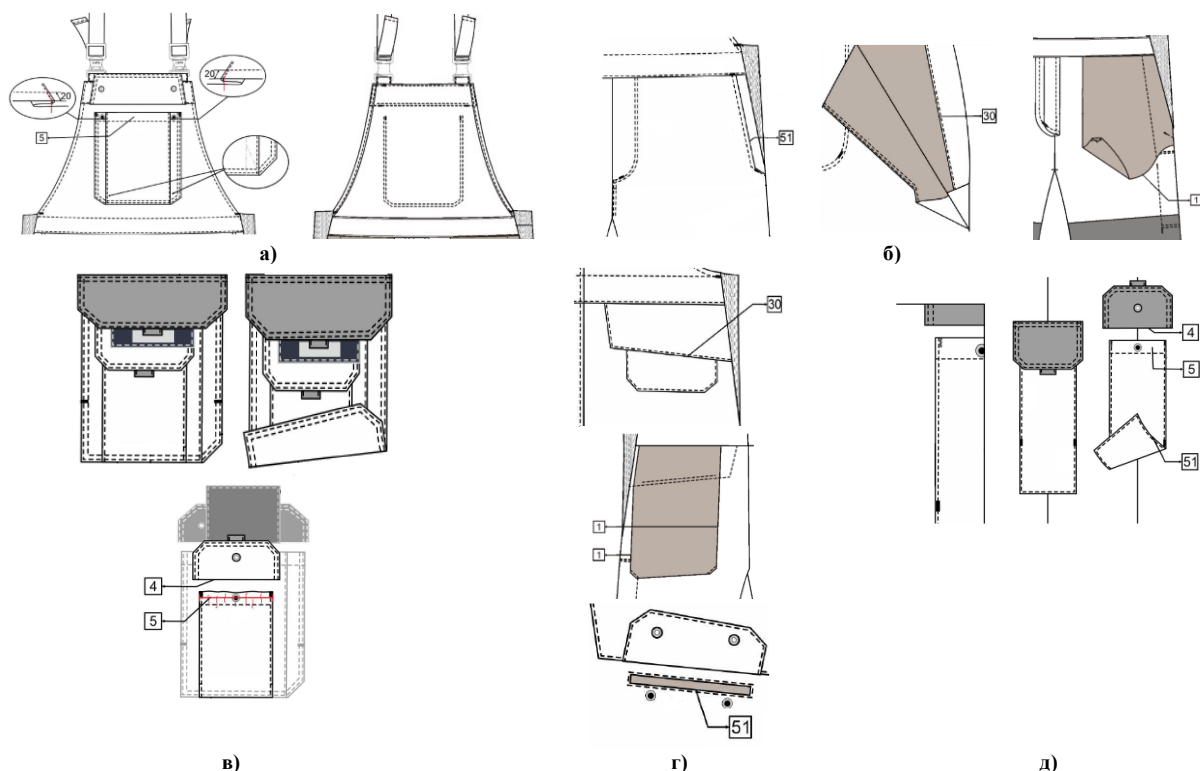


Рис. 1. Модуль різновидів кишень: а) нагрудна кишень; б) бічна кишень; в) накладна кишень; г) задня кишень; д) кишень спеціального призначення

Нагрудна кишень (рис. 1, а) ідентична за конструкцією і технологією обробки в модельних конструкціях. Бічна кишень має відмінності у кокетці основної деталі передньої частини штанів (рис. 1, б). накладна кишень ідентична за конструкцією і технологією обробки (рис. 1, в). Задня кишень (рис. 1, г) відрізняється модифікацією клапана, але технологія складання однакова. Кишень спеціального призначення (рис. 1, д) підсилює бічний шов і забезпечує зберігання інструменту. Рис. 1 доповнює форму 2 ТО ескізом зовнішнього вигляду і технічними умовами виконання вузлів виробу. Модуль технічних умов до конструкції швів містить шифр і замальовку шва. Фрагмент модуля, який представлено на рис.2, регламентує варіанти конструкції шва в технології виконання за ознакою групового документа в модулі різновидів кишень.

Таблиця 2

Фрагмент матриці поєднань деталей моделей чоловічих поясних виробів в ТО для ТОВ «СПЕЦПОШИВ» м. Рівне за замовленням фірми Rofa (Німеччина), 2020 р.

Шифр моделі	Номер конструктивної основи	Деталі					Кількість модифікацій	Коефіцієнт повторення $\frac{\sum_{i=1}^6 \text{варіантів}}{\sum_{j=1}^9 \text{модифікацій}}$
		НгК	БК	НК	СК	ЗК		
2652354	К01	-	В6	НК2+НК3+Кл2+Кл3	НК4+Кл4	НК5+Кл5	10	0,9
2652355	К02	НК1+Кл1	В6	НК2+НК3+Кл2+Кл3	НК4+Кл4	Кл5+Л1	12	0,75
1552370	К02	НК1+Кл1	В6	НК2+НК3+Кл2+Кл3	НК4+Кл4	Кл6	11	0,82
Всього варіантів	2	1	1	1	1	3	9	-

Операцію виключення помилок у формах технічного опису доцільно виконувати за допомогою матриці застосування (табл. 2) [9], відповідно до специфікації деталей на рис.1. У матриці застосування використані наступні позначення: НгК – нагрудна кишень; БК – бічна кишень; НК – накладна кишень; КСК

– кишеня спеціального призначення; ЗК – задня кишеня; Кл – клапан; Вб – відрізний бочок; Л – листочка.

Результати розрахунку коефіцієнту повторення для поясного одягу підтверджують однорідність модифікацій та належність вузлів, невідповідних основному розміру, до групового конструкторського документу. Декартовий добуток $X=x_1x_2...x_n$ відповідає вибору фіксованого рівня кожного фактору X_j за умови, що елементи матриці $P(i, l)$ дорівнюють 1 або 0. Пара (i, l) відповідає поєднанню «умова - рішення». Це дозволяє перетворити відображення $X \rightarrow Y$ в декартовий добуток множини натуральних чисел N в множину $N \cup \{O\}$.

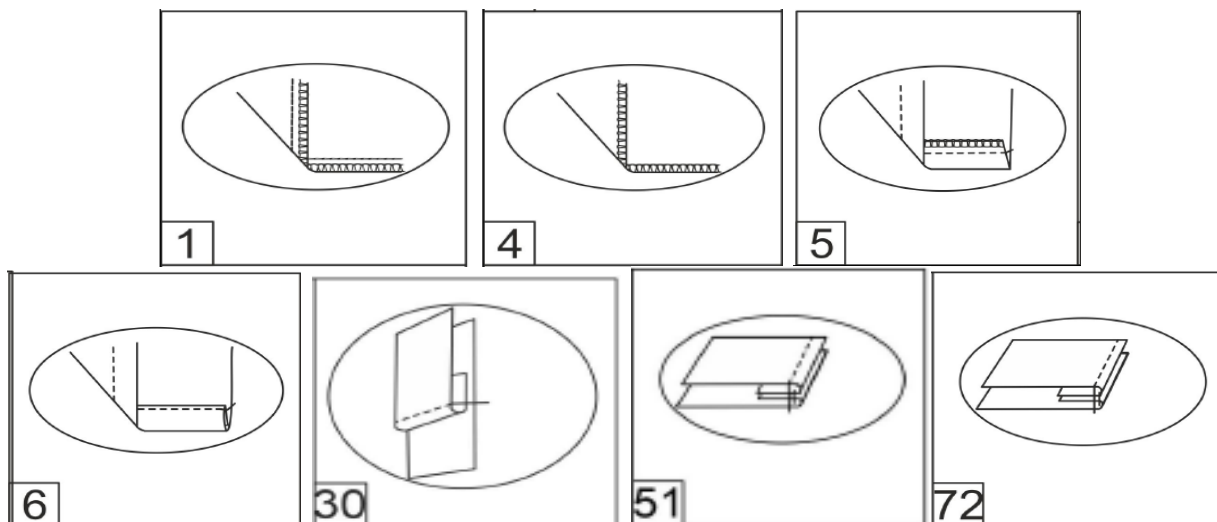


Рис. 2. Технічні умови до конструкцій швів

Висновки

Конкурентоздатність швейної продукції потребує комплексної уніфікації для зміни змісту форм технічного опису як засобу контролю якості виробу. Модель типового представництва в базі конструкторських документів забезпечує блочно-модульний підхід до модифікаційної селекції як конструкції, так і технології виготовлення. Застосування у формах технічної документації градації контролю рівня якості за ознакою однотипності технології в модулях складальних одиниць базується на наслідуванні спільних конструктивних елементів типового представника.

Література

1. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять : ДСТУ 3321:2003. – [Чинний від 2003-12-08]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 51 с. – (Національний стандарт України).
2. Славінська А. Л. Побудова лекал деталей одягу різного асортименту : навч. посіб. / А.Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 222 с.
3. Славінська А.Л. Логістична координація інформаційних потоків серії моделей швейних виробів / А.Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 6. – С. 100–107.
4. Nayak, R., Padhye, R., Wang, L., Chatterjee, K., Gupta, S. (2015). The role of mass customisation in the apparel industry. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 8 (2), 162–172. DOI: <https://doi.org/10.1080/17543266.2015.1045041>
5. Mpampa, M. L., Azariadis, P. N., Sapidis, N. S. (2010). A new methodology for the development of sizing systems for the mass customization of garments. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 22 (1), 49–68. DOI: <https://doi.org/10.1108/09556221011008802>
6. Кокеткин П.П. Промышленное проектирование специальной одежды / П.П. Кокеткин, З.С. Чубарова, Р.Ф. Афанасьева. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 184 с.
7. Slavinska A., Syrotenko O., Dombrowska O., Mytsa V.: Simulation model of the morphological field of data for constructing a universal design of trousers, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 6/1(96), 2018, pp. 28–39, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.192590>
8. Yamazaki, K., Oya, R., Nagahama, K., Okada, K., Inaba, M. (2016). Bottom Dressing by a Dual-Arm Robot Using a Clothing State Estimation Based on Dynamic Shape Changes. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13 (1), 5. DOI: <https://doi.org/10.5772/61930>
9. Славінська А.Л. Методологія типізації лекал деталей швейних виробів / А.Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 2. – С. 72–79.

References

1. Systema konstruktorskoi dokumentatsii. Terminy ta vyznachennia osnovnykh poniat : DSTU 3321:2003. – [Chynnyi vid 2003-12-08]. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. – 51 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
2. Slavinska A. L. Pobudova lekal detalei odiahu riznoho asortymentu : navch. posib. / A.L. Slavinska. – Khmelnytskyi : KhNU, 2011. – 222 s.
3. Slavinska A.L. Lohistychna koordynatsiia informatsiinykh potokiv serii modelei shveinykh vyrobiv / A.L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 6. – S. 100–107.
4. Nayak, R., Padhye, R., Wang, L., Chatterjee, K., Gupta, S. (2015). The role of mass customisation in the apparel industry. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 8 (2), 162–172. DOI: <https://doi.org/10.1080/17543266.2015.1045041>
5. Mpampa, M. L., Azariadis, P. N., Sapidis, N. S. (2010). A new methodology for the development of sizing systems for the mass customization of garments. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 22 (1), 49–68. DOI: <https://doi.org/10.1108/09556221011008802>
6. Koketkin P.P. Promyshlennoe proektirovanie specialnoj odezhdy / P.P. Koketkin, Z.S. Chubarova, R.F. Afanaseva. – M. : Legkaya i pishevaya promyshlennost, 1982. – 184 s.
7. Slavinska A., Syrotenko O., Dombrovska O., Mytsa V.: Simulation model of the morphological field of data for constructing a universal design of trousers, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 6/1(96), 2018, pp. 28–39, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.192590>
8. Yamazaki, K., Oya, R., Nagahama, K., Okada, K., Inaba, M. (2016). Bottom Dressing by a Dual-Arm Robot Using a Clothing State Estimation Based on Dynamic Shape Changes. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13 (1), 5. DOI: <https://doi.org/10.5772/61930>
9. Slavinska A.L. Metodolohiia typizatsii lekal detalei shveinykh vyrobiv / A.L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2011. – № 2. – S. 72–79.

**СЛАВІНСКА А. Л.,
МИЦА В. В.**

ORCID ID: 0000-0002-5453-9787 mitsa_vv@ukr.net

Надійшла/Paper received : 26.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА КІНОА – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Робота присвячена організації операції очищення зерна кіноа, яка є важливим етапом його післязбиральної обробки. У роботі наведено аналіз сучасного стану ринку кіноа у світі та перспективи її виробництва в Україні. Нами визначено геометричні розміри та розраховано основні геометричні показники зерна кіноа, що є основними показниками для організації і ведення процесу очищення. На основі ситового аналізу та гранулометричних показників зерна кіноа розроблено фракційну схему очищення зерна кіноа.

Ключові слова: кіноа, очищення зерна, геометричні розміри зерна, ситовий аналіз, фракційна схема очищення.

O. SOKOLOVSKAYA, L. VALEVSKAYA

Odessa National Academy of Food Technologies

CLEANING OF QUINO GRAIN - AN IMPORTANT STAGE OF POST-HARVEST TREATMENT

In the world and in Ukraine, the quinoa market is growing rapidly due to its extremely beneficial properties for the body. Quinoa is one of the few gluten-free crops with a high content of easily soluble proteins, which provides the possibility of making special foods for children, people who play sports, vegetarians and diabetics. Quinoa grain contains a lot of protein: from 16.2% to 20%, the amino acid composition of the protein is very balanced, quinoa grain also contains carbohydrates, fats high in lecithic acid, fiber, minerals and vitamins of group B. The dynamics of sown areas and quinoa production in the world.

The work is devoted to the organization of the operation of purification of quinoa grain, which is an important stage of its post-harvest processing. Any processing of grain is associated with its purification from impurities. The presence of impurities negatively affects the efficiency of grain storage and its technological features, which leads to a decrease in yield and quality of processed products. Therefore, cleaning operations occupy a central place in the post-harvest processing of grain. We have determined the geometric dimensions and calculated the basic geometric parameters of quinoa grain, which are the main indicators for the organization and conduct of the cleaning process. To identify the necessary working bodies and determine the optimal size of the holes for the separation of the mixture into fractions, the analysis of the variability of the grain size of the main crop and the size of the released impurity. Based on these data, a correlation table is constructed. Analysis of the correlation table shows that for effective cleaning of quinoa grain it is necessary to use sieves with a diameter of 3... 3.5 mm to remove large impurities and sieves 1.0x20, with a diameter of 1.6 and 1.8 mm. Based on the data of the correlation table, a fractional scheme of quinoa grain purification was developed, with the appropriate shapes and sizes of sieve holes. This scheme of purification of quinoa grain is effective and allows to isolate 93% of impurities.

Keywords: quinoa, grain cleaning, geometric grain dimensions, sieve analysis, fractional cleaning scheme.

Постановка проблеми

У міру зростання чисельності населення Землі світова продовольча експорт збільшується рік від року, одночасно слідом за змінами попиту і моделей поведінки споживачів його структура трансформується. Зі зростанням доходів покупці віддають все більшу перевагу корисним і здоровим продуктам, таким як свіжі овочі і фрукти, морепродукти, цільні злаки, органічна продукція. Популярність можуть завоювати і такі продукти, які ще пару десятиліть тому широкому споживачеві були невідомі.

Одним із прикладів є кіноа – однорічна рослина, що відноситься до зернових культур і який отримав широку популярність лише в ХХІ столітті. Археологічні дослідження доводять, що культивування кіноа велося в Андах в Південній Америці ще 5000 років до н.е., а інки вважали кіноа священним.

Починаючи з ХV століття значення кіноа зменшилося, і крупа поступово стала вважатися «їжею для бідних», хоча як і раніше грала істотну роль в харчуванні небагатих сімей в сільських районах. За даними ФАО, до 1970 року посівні площі в Болівії, Еквадорі і Перу становили менше 30 тис. га. Кіноа місцеві жителі вирощували переважно для власного споживання, продаючи надлишки на місцевих ринках і залишаючи насіння для наступного посівного сезону.

Ситуація поступово почала змінюватися в 1980-х роках, після того як ФАО визнала кіноа стратегічною культурою для Андського регіону, Національна академія наук США видала книгу про забуту культуру інків, а NASA стало вивчати її з метою включення в раціон харчування астронавтів. Це позитивно позначилося на іміджі кіноа, на нього звернули увагу західні компанії як на екзотичну крупу для прихильників вегетаріанської дієти. Одночасно в латиноамериканських країнах стали створюватися кооперативи і об'єднання виробників з метою комерціалізації культури, впровадження сучасних технологій землеробства і пошуку ринків збуту [1, 2].

У 1990-х роках в Болівії запущена програма з виробництва органічного кіноа (Royal Quinoa), а також створена Асоціація екологічних виробників Болівії, що займається впровадженням органічного виробництва відповідно до вимог європейських країн. Розвиток внутрішнього виробництва, а також створення національного органу з сертифікації органічної продукції (Bolicert) призвело до зростання експорту в європейські країни і, як наслідок, впізнаваності кіноа. У 1993 році при фінансуванні ЄС запущений дослідницький проект з вивчення можливості вирощування культури, яка була представлена в якості крупи з більш високим вмістом білка і більш збалансованим амінокислотним складом в порівнянні зі

злаками [1, 2].

Вивчення кіноа і його властивостей в західних країнах, а також розвиток сучасних методів органічного виробництва в Південній Америці привели до того, що з 2000-х років кіноа стрімко завойовує популярність в якості здорового і корисного продукту, багатого вітамінами і мінералами і не містить глютен. Це викликало бум виробництва і експорту в латиноамериканських країнах, який триває до теперішнього часу. За даними Інституту зовнішньої торгівлі Болівії, з 2003 до 2012 р. експорт кіноа виріс в 9,3 рази в фізичному обсязі і в 26 разів у вартісному. Всього, за даними ІТС Trade Map, до 2012 року в світі експортовано 44 тис. т кіноа вартістю 135 млн дол. У 2019 року цей обсяг зріс ще в 2,5 рази [1–3].

Аналіз останніх джерел

З огляду на здатність різних сортів кіноа адаптуватися до різних кліматичних зон в різних країнах Африки, Азії, Європи і Північної Америки, які можуть стати її виробниками, були проведені експерименти по вирощуванню цієї культури. До теперішнього часу, кіноа вже успішно апробована в таких країнах, як Сполучені Штати, Марокко, Кенія і Індія, і є плани по розгортанню її широкомасштабного комерційного виробництва. Підвищення попиту і зростання світових цін на кіноа стимулювали виробників адаптувати культуру до низьких висот і вирощувати її в посушливих умовах [1–3].

В результаті, за даними ФАО, за останні 20 років посівні площі в країнах - основних виробниках збільшилися в 2,5 рази і в 2019 році склали 184,5 тис. га, а урожай виріс в більш ніж в 3 рази до 161,4 тис. т. Всього ж культура вирощується в 70 країнах. Динаміку посівних площ та виробництва кіноа наведено на рис. 1 [4].

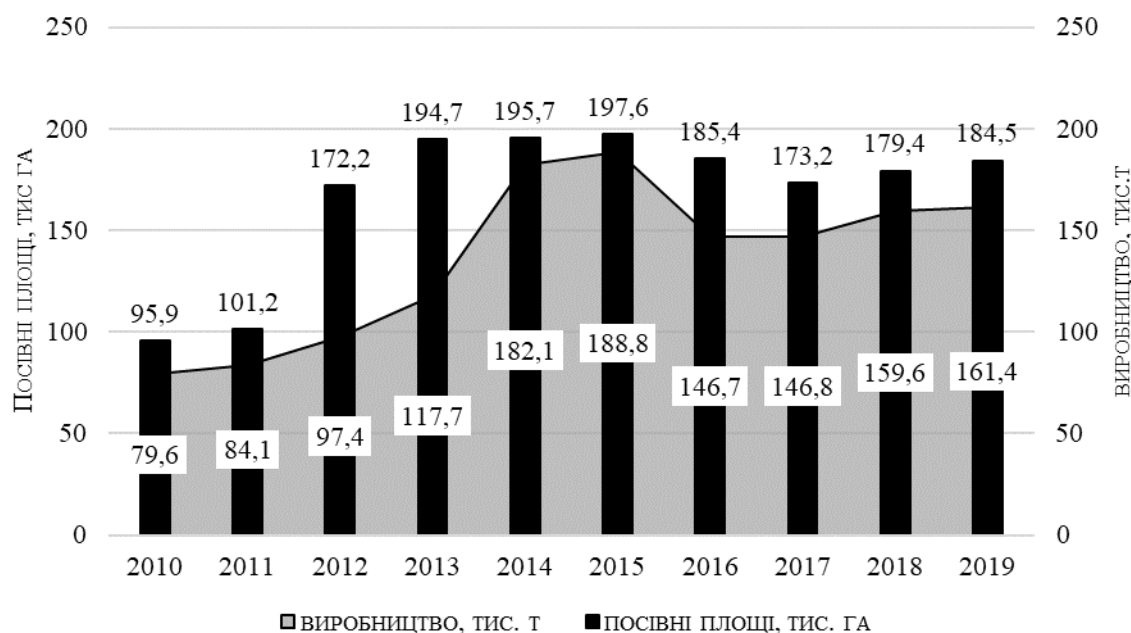


Рис. 1. Динаміка посівних площ та виробництва кіноа у світі

Світовий експорт кіноа в 2019 році склав 112 тис. т вартістю 320 млн дол. Найбільшими експортерами були Перу (134 млн дол.) і Болівія (91 млн дол.), Основними імпортерами – США (93 млн дол.), Канада (27 млн дол.) і Франція (27 млн дол.) [5].

В даний час кіноа вже не є екзотичним продуктом, його можна знайти на полицях всіх великих супермаркетів, а також спробувати в провідних ресторанах. Кіноа широко представлено в складах вегетаріанських, безглютенових дієт, дієт по контролю ваги як білковий продукт з низькою калорійністю, амінокислотний склад якого близький до молока [6].

В Україні кіноа придбала популярність в останні роки, багато українських виробників круп зараз включають кіноа в свій асортимент. Але до теперішнього часу закуповували сировину за кордоном, в першу чергу в країнах Латинської Америки. Уже з 2019 року ведеться робота що до посівів кіноа в Україні [6].

Від збирання врожаю до переробки зерна треба зберегти від утрат та погіршення якості. А для цього зерно повинно пройти комплекс операцій первинної обробки, до якої входять очищення, активне вентильовання, сушіння, зберігання. Комплекс післязбиральної обробки зерна має забезпечити поліпшення якості та надійне зберігання зерна без втрат до його наступної переробки.

Свіжозібране насіння містить багато домішок (насінина бур'янів і сторонніх культурних рослин, рештки стеблин, листів, а також биті, щуплі і дефектні насінини). Домішки негативно впливають на процес зберігання зерна, тому що більшість домішок мають значно вищу гігроскопічність, життєздатність і інтенсивність дихання, ніж основна культура. Тому найважливішим завданням є якнайшвидше видалення зі свіжозібраного зерна насіння бур'янів, а також інших домішок органічного походження, що досить важливо для забезпечення схоронності зерна.

Метою роботи є вибір раціональної технологічної схеми очищення зерна.

Виклад основного матеріалу

Зернову суміш очищають від домішок з урахуванням різниці між зернами основної культури і домішками:

за шириною і товщиною – на решетах з круглими і продовгуватими отворами в зерноочисних, сортувальних і калібрувальних машинах;

за довжиною – у циліндричних і дискових трієрах;

з використанням аеродинамічних властивостей – за допомогою повітряного потоку в аспіраційних колонках, пневмосепараторах і пневмоколонках;

за формою і станом поверхні зерна і домішок – на решетах з отворами трикутної форми в спіральних і стрічкових сепараторах, гірках, змійках;

за щільністю (питома вага) – на пневматичних сортувальних столах, каменевідбірних машинах;

за металомагнітними й електричними властивостями, кольором – на електромагнітних і електростатичних, електронних машинах і за допомогою фотоелементів

У сільськогосподарському виробництві найпоширенішими є способи очищення зерна, які базуються на його геометричних і аеродинамічних відмінностях. Отже, одним з основних показників для організації і ведення процесу очищення є форма і розміри основної культури та домішок [7, 8].

Нами визначено геометричні розміри та розраховано основні геометричні показники зерна кіноа: об'єм зернини V_z , площа зовнішньої поверхні F_z , еквівалентний діаметр d_e та питома поверхня a_0 та сферичність ψ зерна кіноа [9]. Результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Геометричні характеристики зерна кіноа

Показник	Значення
довжина l , мм	2,0...1,7
ширина a , мм	1,8...1,6
товщина b , мм	1,2...1,0
об'єм зернини V_z , мм ³	2,23
площа зовнішньої поверхні F_z , мм ²	7,33
еквівалентний діаметр d_e , мм	1,62
питома поверхня a_0 , (мм ² /мм ³)	3,28
сферичність ψ	0,89

Для виявлення необхідних робочих органів і визначення оптимальних розмірів отворів для поділу суміші на фракції проведено аналіз мінливості розмірів зерна основної культури і розмірів виділюваної домішки. На підставі цих даних побудовано кореляційну таблицю, у якій насіння основної культури і домішок (бур'янистих рослин) розділені на класи по розмірах (товщині та ширині) [10].

Методика побудови кореляційної таблиці полягає в просіванні наважок зерна на наборі лабораторних сит із круглими і прямокутними отворами, границею між класами будуть розміри отворів обраних сит.

Аналіз кореляційної таблиці дозволяє виявити характерну закономірність у розходженнях в деяких параметрах між основним зерном і виділюваними домішками.

Так у нашому випадку, через яке проходом іде максимально можлива кількість зерна основної культури і тільки невелика частина домішок, а в сході цього сита залишається найбільша кількість домішок з невеликим вмістом зерна основної культури, буде решето із шириною прямокутних отворів 1,0 мм, тому що проходом (перша проміжна фракція) через нього підуть 73 % основного зерна і тільки 7 % домішок. У сході із цього сита (друга проміжна фракція) залишиться 24 % насіння основної культури і 93 % насіння бур'янистих рослин. Будь-який інший варіант сепарування не дасть більш точного результату. Це завдання успішно вирішується, якщо для першої проміжної фракції застосуємо решето з отворами діаметром 1,6 мм. У цьому випадку все насіння домішок (7 %) і одночасно з ними 3 % насіння основної культури підуть у прохід, а в сході з решета буде перебувати 73 % насіння основної культури без насіння бур'янистих рослин. Для поділу насіння основної культури від домішок у другій проміжній фракції варто використовувати сито з отворами діаметром 1,8 мм, і тоді 15 % насіння без домішок буде виділено сходом, а 93 % домішок і 1 % насіння основної культури підуть у прохід.

На основі аналізу кореляційної таблиці розроблено фракційну схему очищення кіноа (рис. 2)

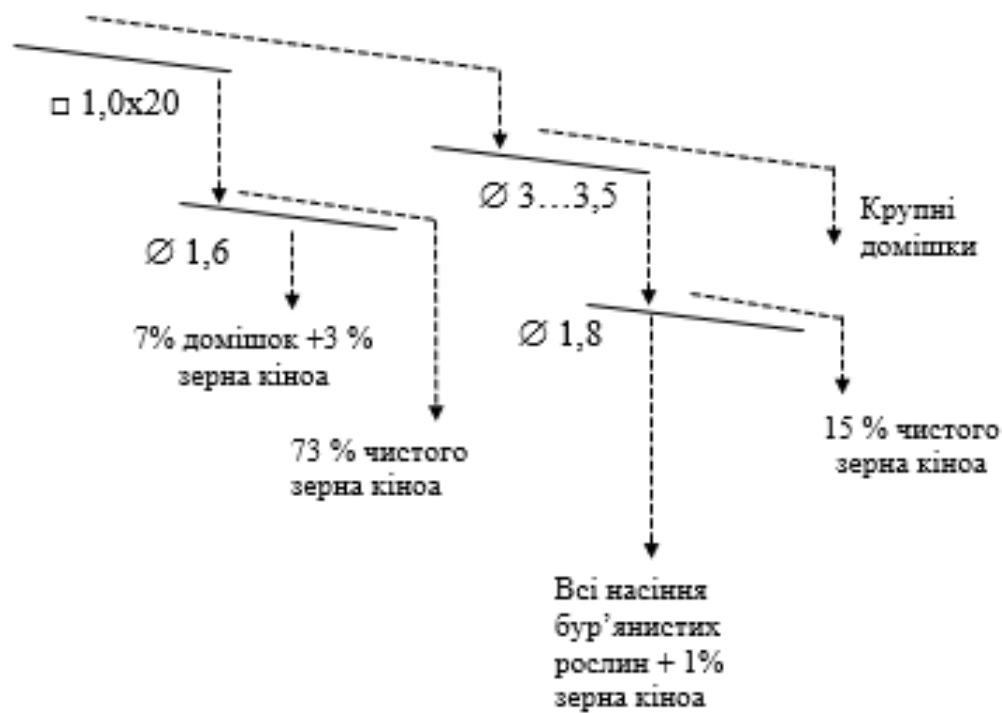


Рис. 2. Фракційна схема очищення кіноа

Висновки

Ринок кіноа активно розвивається завдяки унікальному хімічному складу цієї культури. Зерно кіноа містить багато білка: від 16,2% до 20%, амінокислотний склад білка дуже збалансований і близький до складу білків молока, і містить до 20 типів амінокислот. Крім білків, кіноа містить також вуглеводи, жири (з високим вмістом лецитинової кислоти), клітковину, мінерали і вітаміни групи В. Кіноа багата фосфором (утричі більше, ніж рис найвищої якості і не поступається багатьом видам риби), залізом (вдвічі перевищує пшеницю), кальцієм, цинком.

Кіноа придатна для вирощування в наших природно-кліматичних та ґрунтових умовах, і вже ведуться селекційні роботи, щодо вирощування кіноа в Україні.

Операції очищення зерна займають центральне місце у післязбиральному обробленні зерна, так як наявність домішок негативно впливає на ефективність зберігання зерна та його технологічні особливості, що призводить до зниження виходу і якості продуктів переробки.

Проведений ситовий аналіз та визначення гранулометричних показників дозволили рекомендувати послідовність зерноочисних машин, форму та розміри отворів сит, необхідних для ефективного очищення зерна кіноа.

На основі даних кореляційної таблиці розроблено фракційну схему очищення зерна кіноа, з відповідними формами і розмірами отворів сит.

Література

1. Троценко В.І. Стан та перспективи культури кіноа в північно-східному лісостепу України / В.І. Троценко, І.М. Коваленко, В.О. Ільченко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». – 2017. – Випуск 9 (34). – С. 77–81.
2. Koziol M. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Composition and Analysis* № 5. 1992. 35–68
3. State of the Art Report on Quinoa Around the World 2013. eds D. Bazile, D. Bertero, and C. Nieto Rome: FAO; CIRAD, 2014 589 p.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
5. Ганыч Л.Я. Изучение мирового рынка квиноа / Л.Я. Ганыч, В.В. Олефиренко, Н.В. Мацакова // Сборник трудов Кубанского государственного технологического университета. – Кубгту, 2019. – С. 488–495
6. Валевська Л.О., Соколовська О.Г., Шуляньська А.О Біологічна цінність зернових суперфудів // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки Том 31 (70) № 1 2020 Ч.2. С.116-120
7. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства / Бутковский В.А., Мельников Е.М. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 464 с.
8. Воронцов О.С. Элеваторная промышленность зерносушения и зерноочистка / Воронцов О.С. – Москва : Колос, 1974. – 432 с.
9. Станкевич Г.М. Обробка та зберігання дрібнонасіненних олійних культур : монографія /

Станкевич Г.М., Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г. – Одеса : КП ОМД, 2016. – 128 с.

10. Карпов Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна / Карпов Б.А. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 288 с.

References

1. Trotsenko V.I. Stan ta perspektyvy kultury kinoa v pivnichno-skhidnomu lisostepu Ukrainy / V.I. Trotsenko, I.M. Kovalenko, V.O. Ilchenko // Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahromoho universytetu. Seriya «Ahronomiia i biolohiia». – 2017. – Vypusk 9 (34). – S. 77–81.
2. Kozioł M. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis* № 5. 1992. 35–68
3. State of the Art Report on Quinoa Around the World 2013. eds D. Bazile, D. Bertero, and C. Nieto Rome: FAO; CIRAD, 2014 589 p.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
5. Ganych L.Ya. Izuchenie mirovogo rynka kvinoa / L.Ya. Ganych, V.V. Olefirenko, N.V. Macakova // Сbornik trudov Kubanskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – Kubgtu, 2019. – S. 488–495
6. Valevska L.O., Sokolovska O.H., Shulianska A.O. Biologichna tsinnist zernovykh superfudiv // Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky Tom 31 (70) № 1 2020 Ch.2. C.116-120
7. Butkovskij V.A. Tehnologiya mukomolnogo, krupyanogo i kombikormovogo proizvodstva / Butkovskij V.A., Melnikov E.M. – Moskva : Agropromizdat, 1989. – 464 s.
8. Voroncov O.S. Elevatornaya promyshlennost zernosushenie i zernoochistka / Voroncov O.S. – Moskva : Kolos, 1974. – 432 s.
9. Stankevych H.M. Obrobka ta zberihannia dribnonasinnievkykh oliynykh kultur : monohrafiia / Stankevych H.M., Ovsianynkova L.K., Sokolovska O.H. – Odessa : KP OMD, 2016. – 128 s.
10. Karpov B.A. Tehnologiya posleuborochnoj obrabotki i hraneniya zerna / Karpov B.A. – Moskva : Agropromizdat, 1987. – 288 s.

СОКОЛОВСЬКА О.Г.
ВАЛЕВСЬКА Л.О.

ORCID ID: 0000-0003-4326-1932
ORCID ID: 0000-0003-0511-5643

sokolovskaya_alena@meta.ua
ludmila_valev@ukr.net

Надійшла/Paper received : 23.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДВАРЮВАННЯ КОТОНІНОВМІСНОЇ ТКАНИНИ

В роботі наведено результати математичного моделювання технологічного процесу відварювання кotonіновмісного текстильного матеріалу. За результатами досліджень, що базувалися на виробничих та лабораторних випробуваннях, проведено регресійний аналіз отриманих даних, одержані поверхні відгуку, які описують залежність якісних показників відвареної тканини від параметрів обробки.

Ключові слова: льон, кotonін, відварювання, математичне моделювання, регресійний аналіз, поверхні відгуку.

OKSANA L. TKACHUK

Lutsk National Technical University

MATHEMATICAL MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF COTON-CONTAINING FABRIC DECOCTION

Flax is a very valuable raw material for making fabric. The processes of preparation of flax-containing textile material are multi-stage and energy-intensive. Therefore, the development of effective methods of preparation of flax-containing textile material is relevant.

In this work, the method of mathematical planning of the experiment conducted a study of the dependence of the breaking load, capillarity and the degree of whiteness of cotton-containing textile material on the concentration of components of the boiling bath. The research was carried out on a mixed polyester-cotton-linen fabric TPK-11 produced by the private joint-stock company "Edelvika" (Lutsk). Technological process of boiling was carried out periodic method on a painting-roller machine. After boiling, the tissue samples were bleached according to the recipe based on hydrogen peroxide under the same conditions. Evaluation of the quality of boiled fabric was performed on such indicators as capillarity, breaking load and degree of whiteness. Processing of research results was carried out in the program "MathCAD 15".

At the result regression equations and response surfaces was received. The analysis of the obtained results shows that the quality of preparation of mixed flax-containing fabric depends on the concentration of the components of the boiling bath, and these models allow to establish the optimal recipe regimes of the boiling process. The obtained data can be used to justify further research.

Keywords: flax, cotton, boiling, mathematical modeling, regression analysis, response surfaces.

Вступ

Ляне волокно є цінною сировиною для легкої промисловості, яка завдяки поєднанню ряду лише йому притаманних властивостей, не може бути замінена іншими видами натуральних волокон [1]. Унікальні властивості лляних волокон покращують споживчі властивості тканин, підвищують якість одягу, дозволяють відповідати новим тенденціям моди, а зовнішні недоліки стали перевагами, що доводять його натуральне походження. Зростаючий попит на вироби з льону потребує вдосконалення технологій його вирощування, переробки та оздоблення.

Найчастіше льон доповнює свої якості в сумішах з іншими волокнами. Мета створення сумішей – поєднання переваг різних видів волокнистих компонентів, що забезпечує функціональність тканин, практичність, комфорт в носінні, зручність у догляді та дозволяє досягати бажаної легкості тканин і виробів з них. При цьому натуральні волокна забезпечують гігієнічно важливі властивості і комфортні умови експлуатації виробів, а хімічні волокна і нитки покращують споживчі властивості: яскравість забарвлення, об'ємність, м'який гриф, незминальність, міцність, забезпечують нижчу вартість.

Підготовка льоноволокна для застосування в бавовняній галузі здійснюється шляхом його кotonізації, тобто надання технологічних, фізико-механічних та естетичних властивостей, близьких до бавовни [2, 3].

За рахунок використання кotonізованого лляного волокна, яке придатне для переробки в пряжу разом з бавовною, лавсаном та іншими волокнами шляхом застосування простих та економічних технологій бавовнопрядіння, можливо значно збільшити випуск недорогих та якісних льоновмісних матеріалів [4, 5].

Постановка завдання

Високий вміст в тканинах кotonізованого льоноволокна і, як наслідок, нецелюлозних забарвлених домішок, вимагає особливих підходів до організації процесів підготовки і фарбування. Льон, як природне текстильне волокно, має складну структуру та будову. Присутність у лляному волокні значної кількості природних домішок, в тому числі лігніну, ускладнює обробку тканин із вмістом льону, робить процеси відварювання та вибілювання багатостадійними та енергозатратними [6].

У зв'язку з вищевикладеним, важливим і актуальним завданням є розробка ефективних технологічних процесів підготовки кotonіновмісного текстильного матеріалу, зокрема оптимізації режимів відварювання, що забезпечить отримання якісного продукту з необхідними фізико-механічними показниками.

Метою даної роботи є дослідження методом математичного планування експерименту залежності розривального навантаження, капілярності і ступеня білості кotonіновмісного текстильного матеріалу від концентрації компонентів відварювальної ванни.

Виклад основного матеріалу

Підготовка суворой платтяно-костюмної тканини арт. ТПК-11 “Оксамит” наступного сировинного складу: 50 % поліестер, 30 % бавовна, 20 % льон, здійснювалась в лабораторних умовах ПрАТ «Едельвіка» (м. Луцьк). Відварювання проводилося періодичним способом (на фарбувальньо-роликовій машині) за температури 95°C, одну годину, модуль ванни становив M=1:15. Після відварювання зразки відбілювали за рецептом на основі перекису водню в однакових умовах.

Оцінка ефективності застосування досліджуваних рецептур підготовки суворой тканини проводилася за такими показниками їх якості як капілярність (мм), розривальне навантаження (Н) та ступінь білості (%).

Математичні моделі, що описує залежність вихідних параметрів (розривального навантаження, капілярності та ступеня білості) y від вхідних параметрів x_1 (гідроксиду натрію – NaOH), x_2 (карбонату натрію – Na₂CO₃), x_3 (гідросульфиту натрію – NaHSO₃) шукаємо у вигляді рівнянь регресії:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коефіцієнти рівнянь регресії;

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i} \text{ – зв'язок між кодовими і натуральними значеннями факторів;}$$

x_i, X_i – кодоване та натуральне значення i -го фактора відповідно;

X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Обробку результатів досліджень виконуємо у програмі «MathCAD 15».

Діапазон зміни вхідних факторів (їх концентрація у відварювальній ванні, % від маси тканини): X_1 (NaOH) від 3% до 7%; X_2 (Na₂CO₃) від 3% до 7%; X_3 (NaHSO₃) від 1% до 6%.

З метою нівелювання випадкових похибок відгуку досліди проводимо три рази $m=3$. Середні значення вихідних параметрів y_u в кожному досліді знаходять за формулою $\bar{y}_u = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m y_{uk}$, а оцінка

дисперсії – за формулою $s_u^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2$ (табл. 1–3).

Таблиця 1

Результати досліджень розривального навантаження

Номер досліді	$X_1, \%$	$X_2, \%$	$X_3, \%$	Розривальне навантаження $y_R, \text{Н}$			Середнє арифметичне значення розривального навантаження $\bar{y}_u, \text{Н}$	Оцінка дисперсії S_u^2 в досліді, Н
				Повторюваність				
				y_{u_1}	y_{u_2}	y_{u_3}		
1	3	3	1	620	622	616	619,3	9,3
2	7	3	1	580	572	576	576,0	16,0
3	3	7	1	585	565	569	586,7	4,3
4	7	7	1	562	565	569	565,3	12,3
5	3	3	6	590	588	592	590,0	4,0
6	7	3	6	585	587	582	584,7	6,3
7	3	7	6	590	592	596	592,7	9,3
8	7	7	6	555	550	551	552,0	7,0

Таблиця 2

Результати досліджень капілярності

Номер досліді	$X_1, \%$	$X_2, \%$	$X_3, \%$	Капілярність $y_K, \text{мм}$			Середнє арифметичне значення капілярності $\bar{y}_u, \text{мм}$	Оцінка дисперсії S_u^2 в досліді, мм
				Повторюваність				
				y_{u_1}	y_{u_2}	y_{u_3}		
1	3	3	1	180	179	180	179,7	0,3
2	7	3	1	205	206	204	205,0	1,0
3	3	7	1	209	210	209	209,3	0,3
4	7	7	1	201	203	202	202,0	1,0
5	3	3	6	185	184	185	184,7	0,3
6	7	3	6	204	203	205	204,0	1,0
7	3	7	6	208	209	208	208,3	0,3
8	7	7	6	200	201	201	200,7	0,3

Таблиця 3

Результати досліджень ступеня білості

Номер досліджу	X_1 , %	X_2 , %	X_3 , %	Ступінь білості y_c , %			Середнє арифметичне значення ступеня білості \bar{y}_u , %	Оцінка дисперсії S_u^2 в досліді, %
				Повторюваність				
				y_{u_1}	y_{u_2}	y_{u_3}		
1	3	3	1	73,8	73,2	73,3	73,43	0,103
2	7	3	1	75,0	74,5	75,0	74,83	0,083
3	3	7	1	75,6	75,9	75,2	75,57	0,123
4	7	7	1	75,3	75,1	74,8	75,07	0,063
5	3	3	6	74,3	74,0	74,9	74,40	0,210
6	7	3	6	77,0	76,6	76,9	76,83	0,043
7	3	7	6	79,8	79,0	79,0	79,27	0,213
8	7	7	6	74,7	74,3	75,0	74,67	0,123

Для визначення відтворюваності дослідів визначаємо критерій Кохрена як відношення максимальної оцінки дисперсії $s_{u \max}^2$ до суми всіх оцінок дисперсії:

$$G = s_{u \max}^2 / \left(\sum_{u=1}^n s_u^2 \right), \quad (2)$$

Умова відтворюваності дослідів:

$$G \leq G(q_{\text{від}}; n; \nu_u), \quad (3)$$

де $G(q_{\text{від}}; n; \nu_u)$ – критичне значення критерію Кохрена, що визначається залежно від рівня значущості $q_{\text{від}}$, числа незалежних оцінок дисперсії n та числа ступенів вільності кожної оцінки $\nu_u = m - 1$. Для $n = 8$, $m = 3$, $q_{\text{від}} = 0,05$ значення критерію Кохрена $G(q_{\text{від}}; n; f_u) = 0,5157$ [7].

Критерій Кохрена, визначений за формулою (2), для досліджень: розривального навантаження $G = 0,362 < 0,5157$, капілярності $G = 0,281 < 0,5157$, ступеня білості $G = 0,317 < 0,5157$, отже умова відтворюваності дослідів (3) виконується в усіх випадках.

Дисперсія відтворюваності визначається за формулою:

$$s_{\text{від}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n s_u^2, \quad (4)$$

з числом ступенів вільності $\nu_{\text{від}} = n(m - 1) = 8(3 - 1) = 16$.

Дисперсія відтворюваності визначена за залежністю (4) для досліджень: розривального навантаження $s_{\text{від}}^2 = 88,278$, капілярності $s_{\text{від}}^2 = 0,444$, ступеня білості $s_{\text{від}}^2 = 0,018$.

Коефіцієнти рівнянь регресії (1) знаходимо за формулами:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_u; \\ b_i &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u, i = 1, 2, 3; \\ b_{ij} &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u, i, j = 1, 2, 3, i \neq j; \\ b_{ijl} &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} x_{lu} \bar{y}_u, i = 1, j = 2, l = 3 \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

Перевірку гіпотези про значущість коефіцієнтів рівняння регресії проводять за критерієм Стьюдента:

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= \frac{b_0}{s(b)}; \\ t_i &= \frac{|b_i|}{s(b)}, i = 1, 2, 3; \\ t_{ij} &= \frac{|b_{ij}|}{s(b)}, i, j = 1, 2, 3, i \neq j; \\ t_{ijl} &= \frac{|b_{ijl}|}{s(b)}, i = 1, j = 2, l = 3 \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

де – дисперсія оцінки коефіцієнтів. Для досліджень: розривального навантаження $s^2(b) = 1,918$,

капілярності $s^2(b) = 0,136$, ступеня білості $s^2(b) = 0,027$.

Результати розрахунків за формулами (5) та (6) представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Коефіцієнти рівнянь регресії та значення критерію Стюдента

Розривальне навантаження								
Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Значення коефіцієнта	583,33	-13,83	-9,17	-3,50	-1,67	2,33	1,67	-7,17
Критерій Стюдента	304,15	7,21	4,78	1,83	0,87	1,22	0,87	3,73
Капілярність								
Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Значення коефіцієнта	199,21	3,71	5,88	0,21	-7,46	-0,79	-0,79	0,71
Критерій Стюдента	1464	27,25	43,17	1,53	54,81	5,82	5,82	5,21
Ступінь білості								
Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Значення коефіцієнта	75,51	-0,16	0,63	0,78	-1,12	-0,38	0,04	-0,64
Критерій Стюдента	2762	5,79	23,16	28,65	40,84	14,02	1,52	23,47

Якщо значення критерію Стюдента перевищує значення $t_{kp} = 2,119$ (для числа ступенів вільності $\nu_{\text{віль}} = 16$ і рівня значущості $q_{\text{віль}} = 0,05$) [7], то оцінку відповідного коефіцієнта рівнянь регресії вважають значущою, в іншому разі значення відповідного коефіцієнта рівняння регресії приймають рівним нулю.

З врахуванням зазначеного рівняння регресії у кодованих факторах запишуться:

– для розривального навантаження:

$$y_R(x_1, x_2, x_3) = 583,33 - 13,83x_1 - 9,17x_2 - 7,17x_1x_2x_3; \quad (7)$$

– для капілярності:

$$y_K(x_1, x_2, x_3) = 199,21 + 3,71x_1 + 5,88x_2 - 7,46x_1x_2 - 0,79x_1x_3 - 0,79x_2x_3 + 0,71x_1x_2x_3; \quad (8)$$

– для ступеня білості:

$$y_C(x_1, x_2, x_3) = 75,51 - 0,16x_1 + 0,63x_2 + 0,78x_3 - 1,12x_1x_2 - 0,38x_1x_3 - 0,64x_1x_2x_3. \quad (9)$$

Врахувавши зв'язок між кодованими і натуральними факторами (2.17) отримаємо рівняння регресії у натуральних факторах:

– для розривального навантаження:

$$y_R(X_1, X_2, X_3) = 703,54 - 19,46X_1 - 17,13X_2 - 17,92X_3 + 2,51X_1X_2 + 3,58X_1X_3 + 3,58X_2X_3 - 0,72X_1X_2X_3; \quad (10)$$

– для капілярності:

$$y_K(X_1, X_2, X_3) = 116,90 + 12,97X_1 + 14,05X_2 + 3,35X_3 - 2,11X_1X_2 - 0,51X_1X_3 - 0,51X_2X_3 + 0,07X_1X_2X_3; \quad (11)$$

– для ступеня білості:

$$y_C(X_1, X_2, X_3) = 70,52 + 0,46X_1 + 0,59X_2 - 0,91X_3 - 0,05X_1X_2 + 0,24X_1X_3 + 0,32X_2X_3 + 0,06X_1X_2X_3. \quad (12)$$

Для перевірки адекватності отриманих математичних моделей, обраховуємо значення вихідних параметрів за рівняннями регресії (10-12). Результати заносимо в табл. 5.

Адекватність отриманого математичного опису (рівнянь регресії) дослідним даним перевіряється за критерієм Фішера $F = s_{ad}^2 / s_{\text{віль}}^2$, якщо $s_{ad}^2 > s_{\text{віль}}^2$ або $F = s_{\text{віль}}^2 / s_{ad}^2$, якщо $s_{ad}^2 < s_{\text{віль}}^2$, де s_{ad}^2 – дисперсія

адекватності $s_{ad}^2 = \frac{m}{n-d} \sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2$, d – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії; \tilde{y}_u – величина відгуку, отримана в результаті підстановки відповідних величин факторів x_i в рівняння регресії.

Вихідні параметри розраховані за рівняннями регресії

Розривальне навантаження								
Номер дослідів u	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення \tilde{y}_u	613,50	571,50	580,83	567,50	599,17	585,83	595,17	553,17
Капілярність								
Номер дослідів u	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення \tilde{y}_u	179,88	205,21	209,54	202,21	184,46	203,79	208,13	200,46
Ступінь білості								
Номер дослідів u	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення \tilde{y}_u	73,39	74,79	75,61	75,11	74,44	76,88	79,23	74,63

Дисперсія адекватності математичного опису для розривального навантаження $s_{ad}^2 = 139,50$, для капілярності $s_{ad}^2 = 1,04$, для ступеня білості $s_{ad}^2 = 0,04$. Критерій Фішера для розривального навантаження $F = 1,58$, для капілярності $F = 2,35$, для ступеня білості $F = 2,33$.

Математичний опис вважається адекватним, якщо $F < F(q_{\alpha}; v_{ad}; v_{\text{вс}})$, де v_{ad} – число ступенів вільності дисперсії адекватності $v_{ad} = n - d$.

Математичний опис адекватний у всіх трьох випадках, так як для розривального навантаження $1,58 < F(0,05; 4; 16) = 3,01$, для капілярності $2,35 < F(0,05; 1; 16) = 4,49$, для ступеня білості $2,33 < F(0,05; 1; 16) = 4,49$.

Поверхні відгуку, побудовані за рівнянням регресії у натуральних факторах (10)–(12) представлено на рис. 1–3 відповідно.

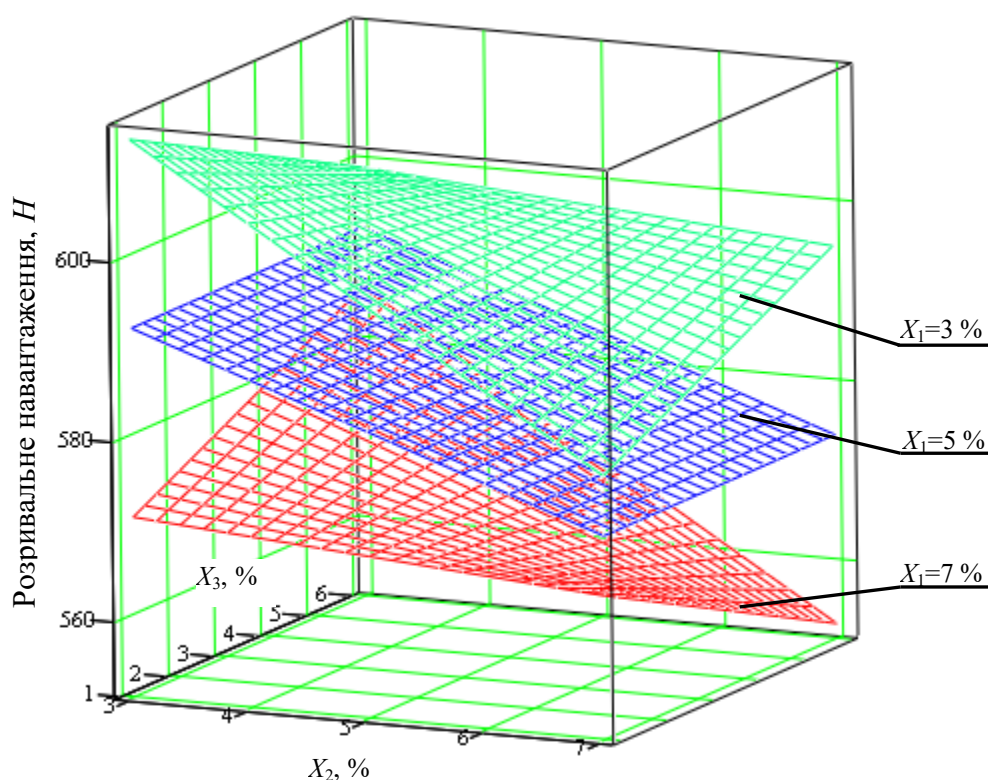


Рис. 1. Залежність розривального навантаження від концентрацій X_1 (NaOH), X_2 (Na_2CO_3), X_3 (NaHSO_3)

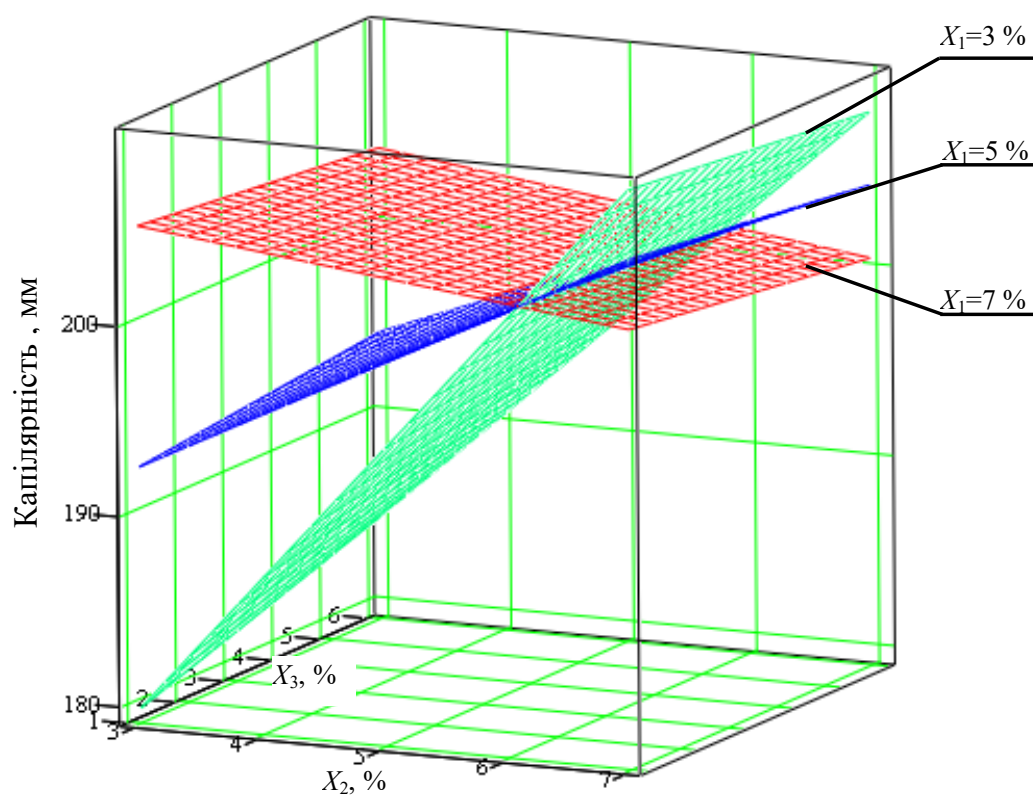


Рис. 2. Залежність капілярності від концентрацій X_1 (NaOH), X_2 (Na_2CO_3), X_3 (NaHSO_3)

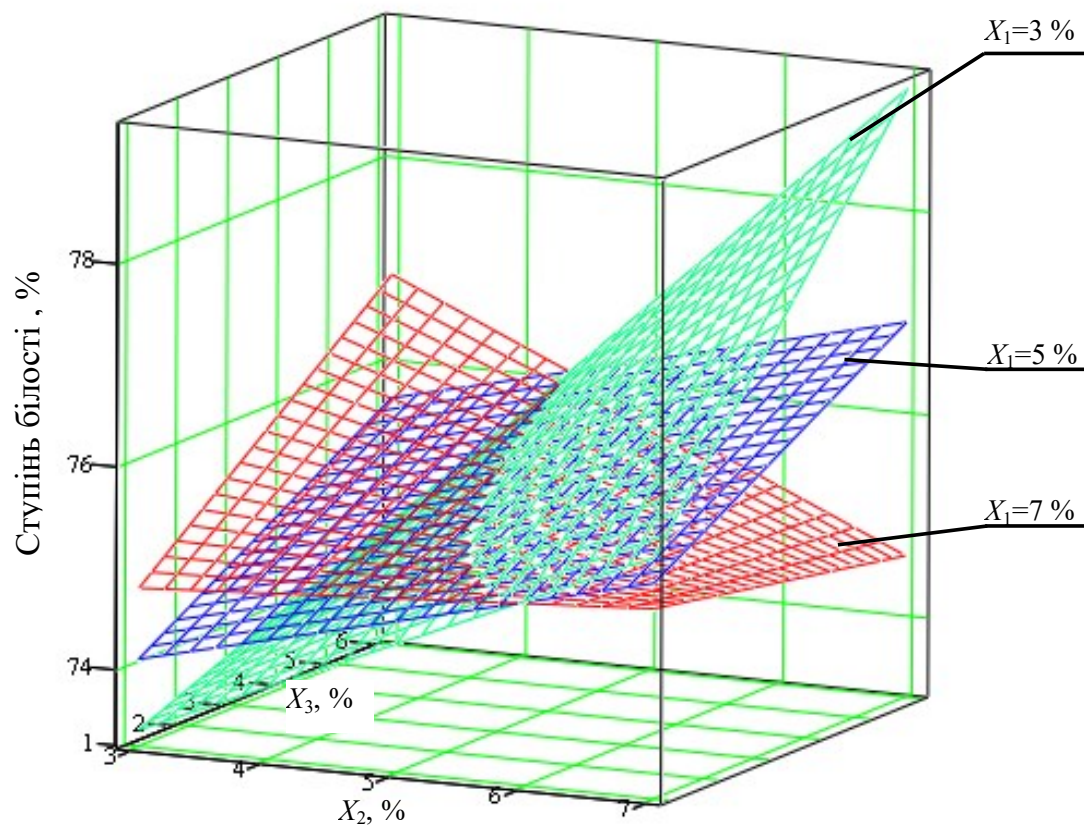


Рис. 3. Залежність ступеня білості від концентрацій X_1 (NaOH), X_2 (Na_2CO_3), X_3 (NaHSO_3)

Аналіз отриманих регресійних рівнянь і поверхонь відгуку свідчить, що показники якості підготовки сумішевої льоновомісної тканини залежать від концентрації компонентів відварювальної ванни, а дані моделі дозволяють встановити оптимальні рецептурні режими процесу відварювання.

Висновки

За допомогою математичного моделювання технологічного процесу відварювання котноіновмісної тканини отримано залежності вихідних параметрів – показників якості готової тканини (розривального навантаження, капілярності та ступеня білості) від концентрації компонентів відварювальної ванни. Дані моделі дозволяють оптимізувати рецептурні склади для відварювання котноіновмісного текстильного матеріалу й одержати продукт з потрібними якісними показниками за найменших затрат.

Література

1. Кобяков С. М. Усовершенствование технологического процесса подготовки льняного волокна к кotonизации / С.М. Кобяков // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2013. – № 25. – С. 28–31.
2. Гончаров А. И. Опыт и перспективы развития льноиндустрии в республике Беларусь / А.И. Гончаров, Ю.В. Барабаш // Текстильная промышленность. – 2002. – № 3.
3. Савчук А. Н. Котонізація льону – майбутнє та сучасне / А. Н. Савчук, Л. А. Чурсіна // Легка промисловість. – 2006. – № 4. – С. 56.
4. Мартосенко М. Г. Новый ассортимент одяговых котноіновмісних трикотажних полотен / М.Г. Мартосенко, Б. Д. Семак // Вісник ЛТЕУ. Технічні науки. – 2009. – № 10.
5. Фомченкова Л.И. Рынок льняных тканей и льноволокна / Л.И. Фомченкова // Текстильная промышленность. – 2003. – № 3. – С. 85–87.
6. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов : учебник для вузов : в 3-х томах. Том 1 / Кричевский Г.Е. – М. : РЗИТЛП, 2000. – 436 с.
7. Сенкевич А.Ю. Математическое моделирование автоматизированных систем контроля и управления : метод. указание / А.Ю. Сенкевич. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 44 с.

References

1. Kobyakov S. M. Usovershenstvovanie tehnologicheskogo processa podgotovki lnyanogo volokna k kotonizatsii / S.M. Kobyakov // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2013. – № 25. – S. 28–31.
2. Goncharov A. I. Opyt i perspektivy razvitiya lnoindustrii v respublike Belarus / A.I. Goncharov, Yu.V. Barabash // Tekstilnaya promyshlennost. – 2002. – № 3.
3. Savchuk A. N. Kotonizatsiia lonu – maibutnie ta suchasne / A. N. Savchuk, L. A. Chursina // Lehka promyslovist. – 2006. – № 4. – S. 56.
4. Martosenko M. H. Novyi asortyment odiahovykh kotoninovmisnykh trykotazhnykh poloten / M.H. Martosenko, B. D. Semak // Visnyk LTEU. Tekhnichni nauky. – 2009. – № 10.
5. Fomchenkova L.I. Rynok lnyanykh tkaney i lonovolokna / L.I. Fomchenkova // Tekstilnaya promyshlennost. – 2003. – № 3. – S. 85–87.
6. Krichevskij G.E. Himicheskaya tehnologiya tekstilnykh materialov : uchebnik dlya vuzov : v 3-h tomah. Tom 1 / Krichevskij G.E. – M. : RZITLP, 2000. – 436 s.
7. Senkevich A.Yu. Matematicheskoe modelirovanie avtomatizirovannykh sistem kontrolya i upravleniya : metod. Ukazanie / A.Yu. Senkevich. – Tambov : Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2004. – 44 s.

ТКАЧУК О.Л. ORCID ID: 0000-0001-5135-4560 tkachuk18oksana@gmail.com

Надійшла/Paper received : 08.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

ПРОГРАМНІ МОДУЛІ ТА ПРОЦЕДУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ КЕВЛАРОВОЇ НИТКИ ПРИ В'ЯЗАННІ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ

Удосконалення процесу в'язання полотен з кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах полягає в створенні мінімально необхідного натягу в зоні формування трикотажного полотна. Виконання цієї складної задачі для плосков'язальних машин повинно базуватися на використанні спеціально розроблених комп'ютерних програм. Враховуючи специфіку переробки кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах, при визначенні відносного натягу в кожній окремій зоні, необхідно використовувати алгоритм рекурсії, коли вихідний натяг кевларових комплексних ниток з попередньої зони буде являтися вхідним для наступної зони. При визначенні натягу кевларових комплексних ниток, при їх взаємодії з напрямними необхідно враховувати значення діаметру перетину кевларових комплексних ниток, її фізико-механічні властивості. Забезпечення мінімально необхідного натягу в зоні формування трикотажного полотна дозволить отримувати параметри петельної структури виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців, здатних захищати тіло людини від впливу вогнепальної, холодної, ріжучої, колючої зброї, ударного та ударно-дробового впливу.

Ключові слова: комп'ютерна програма, алгоритм рекурсії, натяг, кевларова комплексна нитка, спрямовувачі нитки, пристрої компенсації натягу, пристрої натягу.

V.YU. SHCHERBAN, A.K. PETKO, O.Z. KOLISKO, Y.YU. SHCHERBAN, L.E. HALAVSKA

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

SOFTWARE MODULES AND PROCEDURES OF A COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINING THE TENSION OF A KEVLAR THREAD WHEN KNITTING USING A RECURSOR ALGORITHM

Improving the process of knitting fabrics from Kevlar complex threads on flat knitting machines is to create the minimum necessary tension in the area of formation of the knitted fabric. To ensure this, it is necessary to determine the change in relative tension in the refueling zones of Kevlar complex threads on flat knitting machines. These zones are formed by arranging the thread guides, tension compensation devices, tension devices and thread break control devices in the working area of the supply system to form a spatial filling line for each specific knitting machine. This complex task for flat knitting machines should be based on the use of specially designed computer programs. Given the specifics of processing Kevlar complex threads on flat knitting machines, when determining the relative tension in each zone, it is necessary to use a recursion algorithm, when the output tension of Kevlar complex threads from the previous zone will be the input for the next zone. When determining the tension of Kevlar complex threads, their interaction with the guides of Kevlar complex threads, tension compensation devices, tension devices and devices for controlling the breakage of Kevlar complex threads, it is necessary to take into account the value of Kevlar complex thread diameter, its physical and mechanical properties, deformation, deformation the coefficient of bending stiffness when determining the actual angle of coverage of the guide surface. Ensuring the minimum necessary tension in the area of formation of the knitted fabric will allow to obtain the parameters of the loop structure of property and tactical equipment of servicemen capable of protecting the human body from fire, cold, cutting, barbed weapons, shock and shotgun impact.

Minimizing the tension in each zone of the line of Kevlar complex threads on flat knitting machines will reduce the probability of breakage, which is important for improving knitting processes from the standpoint of improving the productivity of flat knitting machines and product quality. Mathematical support of a computer program requires the development of models of thread guides, tension compensation devices, tension devices and thread break control devices, taking into account the real physical and mechanical properties of Kevlar complex threads and real geometric and structural parameters of structural elements of the feed system.

Keywords: computer program, recursion algorithm, tension, kevlar complex thread, thread guides, tension compensation devices, tension devices.

Постановка проблеми

Удосконалення процесу в'язання полотен з кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах полягає в створенні мінімально необхідного натягу в зоні формування трикотажного полотна. Забезпечення мінімально необхідного натягу в зоні формування трикотажного полотна дозволить отримувати параметри петельної структури виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців, здатних захищати тіло людини від впливу вогнепальної, холодної, ріжучої, колючої зброї, ударного та ударно-дробового впливу.

Аналіз джерел

Враховуючи специфіку переробки кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах, при визначенні відносного натягу в кожній окремій зоні, необхідно використовувати алгоритм рекурсії, коли вихідний натяг кевларових комплексних ниток з попередньої зони буде являтися вхідним для наступної зони [1, 5, 11]. При визначенні натягу кевларових комплексних ниток, при їх взаємодії з спрямовувачами кевларових комплексних ниток, пристроями компенсації натягу, пристроями натягу та пристроями контролю обриву кевларових комплексних ниток необхідно враховувати значення діаметру перетину кевларових комплексних ниток, її фізико-механічні властивості, деформацію перетину в зоні контакту, коефіцієнт жорсткості на згин при визначенні реального кута охоплення напрямної поверхні [1, 3–8]. Забезпечення мінімально необхідного натягу в зоні формування трикотажного полотна дозволить

отримувати параметри петельної структури виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців, здатних захищати тіло людини від впливу вогнепальної, холодної, ріжучої, колючої зброї, ударного та ударно-дробового впливу.

Математичне забезпечення комп'ютерної програми вимагає розробки моделей спрямовувачів нитки, пристроїв компенсації натягу, пристроїв натягу та пристроїв контролю обриву нитки з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей кевларових комплексних ниток та реальних геометричних та конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі [2, 5–11].

Розробка та удосконалення спеціальних комп'ютерних програм [10] для визначення натягу в кожній зоні лінії заправки кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах дозволяє оперативно визначати необхідні технологічні параметри, провадити корегування, як самої структури так і складових компонентів системи подачі кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах для отримання мінімально необхідного натягу [2, 5–9].

Метою роботи є розробка програмних модулів та процедур комп'ютерної програми для визначення натягу кевларової нитки при в'язанні з використанням алгоритму рекурсії.

Виклад основного матеріалу

На рис.1а представлена лінія заправки кевларових комплексних ниток 58.8 Текс (рис. 1б) на плосков'язальній машині ПВРК. Лінія заправки поділяється на десять ділянок. В дев'яти вузлах розташовані вісім спрямовувачів ниток у формі тора та шайбовий пристрій натягу. На першому етапі за допомогою компонента N2: TMenuItem (рис. 1в) обираємо матеріал сировини. Процедура procedure.TForm2.N15Click дозволяє обрати кевларову комплексну нитку та розрахувати її основні параметри виходячи з фактичного значення товщини. Реалізація процедури procedure.TForm2.N42Click дозволяє здійснювати обрання матеріалу спрямовувача нитки у формі тора.

При визначенні відносного натягу в кожній окремій зоні, необхідно використовувати алгоритм рекурсії, коли вихідний натяг кевларових комплексних ниток з попередньої зони буде являтися вхідним для наступної зони.

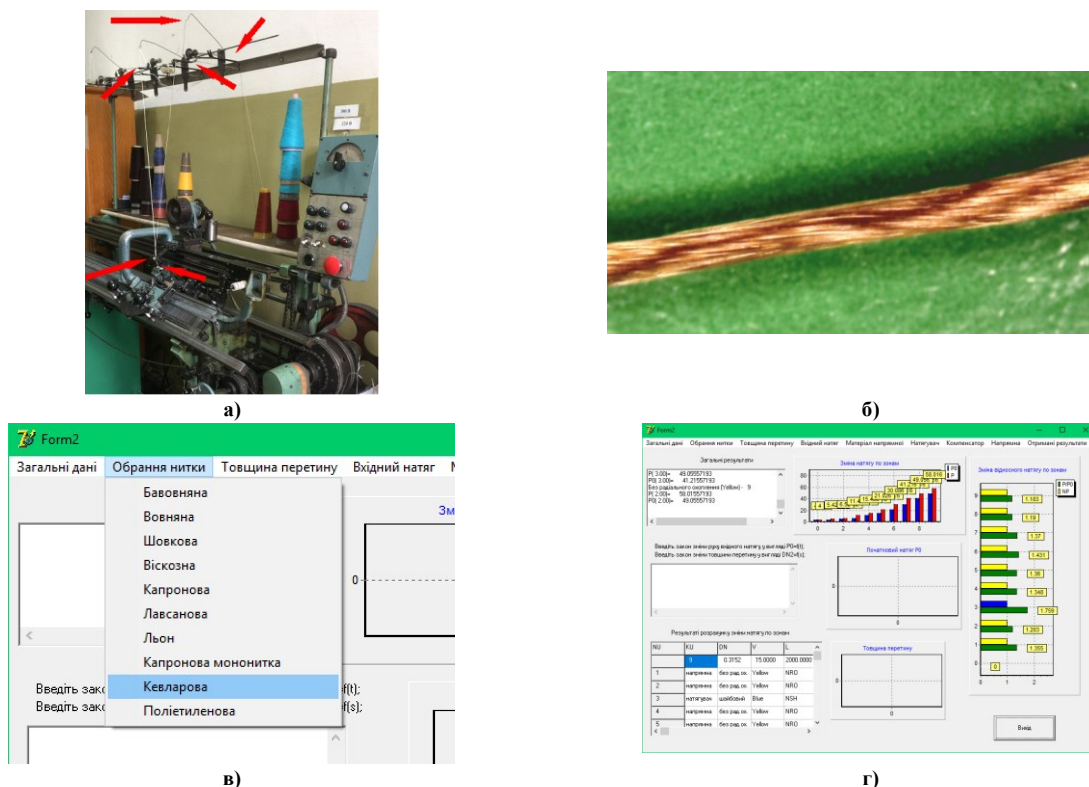


Рис. 1. Система подачі нитки на плосков'язальній машині ПВРК: а) лінія заправки нитки; б) кевларова комплексна нитка 58.8 Текс; в) форма процедури procedure.TForm2.N15Click

Математичне забезпечення процедури procedure N26Click(Sender: TObject) для спрямовувачів нитки має вигляд

$$P_{i+1} = P_i \left[1 + \frac{(R_j + r)}{[R_j + r(1 - \delta_{0j})]} \left(e^{\frac{\beta_j - a}{\sin \beta_j} P_i^b R_j^b \phi_j} - 1 \right) \right] + \left[\frac{B}{2[R_j + r(1 - \delta_j)]^2} \right], \quad (1)$$

де P_{i+1} – натяг нитки після j конструктивного елементу; P_i – натяг нитки до j конструктивного елементу; R_j – радіус кривизни поверхні j конструктивного елементу; δ_{0j} – початкова деформація перетину нитки при набіганні на j конструктивний елемент; δ_j – кінцева деформація перетину нитки при збіганні з j

конструктивного елементу; β_j – кут радіального охоплення нитки поверхню j конструктивного елементу; φ_j – реальний кут охоплення ниткою j конструктивного елементу.

Математичне забезпечення procedure N19Click(Sender: TObject) для шайбового пристрою натягу

$$P_I = P_O \left[1 - \frac{r + r_H}{r} (1 - e^{2\mu_2\alpha}) \right] + \frac{\mu_1 c (\lambda + d_H) \left[2 - \frac{r + r_H}{r} (1 - e^{2\mu_2\alpha}) \right]}{1 + \sin(\alpha - \beta)}, \quad \sin \beta = \frac{r}{R}, \quad (2)$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя між поверхнями верхньої та нижньої шайб та ниткою; μ_2 – коефіцієнт тертя між поверхню циліндричного напрямного стрижня та ниткою; R – радіус кола контакту між верхньою та нижньою шайбами; α – половина кута охоплення ниткою циліндричного направляючого стрижня; r – радіус циліндричного направляючого стрижня; c – коефіцієнт жорсткості пружини; λ – необхідна деформація пружини для забезпечення відповідної сили тертя; r_H – величина поперечного перетину кевларової комплексної нитки.

На рис. 1г представлена головна форма комп'ютерної програми TForm2 = class(TForm) з результатами розрахунків за формулами (1)-(2) натягу кевларових комплексних ниток та відносного натягу по зонах заправки.

В таблиці 1 представлені результати розрахунків натягу та відносного натягу по зонах заправки в залежності від номеру вузла для плосков'язальної машини ПБРК.

Таблиця 1

Результати розрахунків натягу та відносного натягу по зонах заправки в залежності від номеру вузла для плосков'язальної машини ПБРК

Номер вузла	Тип	Характеристика елемента	Колір в TMainMenu	Ідентифікатор	P0	P	P/P0
1	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO1	4.00	5.42	1.35
2	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO2	5.42	6.52	1.20
3	натягувач	шайбовий	Blue	NSH	6.52	11.46	1.75
4	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO3	11.46	15.45	1.34
5	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO4	15.45	21.02	1.36
6	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO5	21.02	30.08	1.43
7	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO6	30.08	41.21	1.36
8	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO7	41.21	49.05	1.19
9	напрямна	з радіальним охопленням	Yellow	NRO8	49.05	58.01	1.18

Висновки

Розроблена комп'ютерна програма для визначення натягу кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах з використанням алгоритму рекурсії.

Визначені зміни відносного натягу по зонах заправки кевларових комплексних ниток на плосков'язальних машинах, що дозволило забезпечити мінімально необхідний натяг в зоні формування трикотажного полотна та отримати параметри петельної структури виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців, здатних захищати тіло людини від впливу вогнепальної, холодної, ріжучої, колючої зброї, ударного та ударно-дробового впливу.

Література

1. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1(245). – С. 83–86.
2. Слізков А.М. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II (Ткацьке, трикотажне та неткане виробництво) : підручник / А.М. Слізков, В.Ю. Щербань, О.П. Кизимчук. – К. : КНУТД, 2018. – 276 с.
3. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V. Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.– Number 3. – pp. 10–15.
4. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи 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.
5. Щербань В.Ю. Математические модели в САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / Щербань В.Ю., Волков О.И., Щербань Ю.Ю. – К. : КНУТД, 2003. – 600 с.
6. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner / V. Scherban, N.Murza, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp.,

Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des – 2016. – Volume 10. – Number 2. – pp. 18–23.

7. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile / V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June – 2016. – Volume 5. – Number 3. – pp. 23–27

8. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface / V. Scherban, G. Melnik, A. Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6. – Number 1. – pp. 22–26.

9. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Коліско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). – С. 25–29.

10. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – K. : Education of Ukraine, 2019. – 902 p.

11. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V.Yu. Kalashnik. – K. : Education of Ukraine, 2017. – 745 p.

References

1. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi. 2017. Volume 245. Issue 1. pp. 83-86.

2. Slizkov A.M., Shcherban V.Yu., Kizimchuk O.P. Mechanical technology of textile materials. Part II. (Weaving, knitted and non-woven production): textbook / A.M. Slizkov, V.Y. Shcherban, O.P. Kyzymchuk. - K.: KNUTD, 2018. - 276 p.

3. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V. Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4. Number 3. – pp. 10-15.

4. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Comparative analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. 2016. Volume 243. Issue 6. pp. 18-21.

5. Shcherban V.Yu., Volkov O.I., Shcherban Yu.Yu. Mathematical models in CAD equipment and technological processes of light and textile industries. K.: KNUTD, 2003. 600 p.

6. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner / V. Scherban, N. Murza, A. Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des - 2016. – Volume 10. Number 2. – pp. 18-23.

7. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile / V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June - 2016. – Volume 5. Number 3. – pp. 23-27

8. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface / V. Scherban, G. Melnik, A. Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – pp. 22-26.

9. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axisio. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. pp. 25-29.

10. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – K.: Education of Ukraine, 2019. – 902 p.

11. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V.Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V.Yu. Kalashnik. – K.: Education of Ukraine, 2017. – 745 p.

Надійшла/Paper received : 12.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

**МАШИНОБУДУВАННЯ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТРАНСПОРТНІ
ТЕХНОЛОГІЇ**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-275-277

УДК 621.432.001.2

Б.С. БРАЦЛАВЕЦЬ

Вінницький національний аграрний університет

**РОЗРОБКА МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗАГАРТОВАНИХ
ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ**

Зношування циліндрів при терті в парі з поршневым кільцем відбувається в результаті багатьох одночасних процесів. Тому робоча поверхня гільз повинна мати високу твердість, що досягається поверхневим гартуванням.

Ключові слова: трактор, гільзи, циліндри, контроль, якість, експлуатація, метал.

B.S. BRATSLAVETS

Vinnytsia National Agrarian University

**DEVELOPMENT OF THE METHOD OF NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL OF HARDENED CYLINDER
SLEEVE OF AUTOTRAKTOR EQUIPMENT**

The main part of tractor engines is the cylinder liner, which depends on the life of the machine as a whole. It is made of gray cast iron (Sch20 DSTU 1412-85) with the addition of alloying elements and subjected to the working surface of HDTV hardening. Now quality control is carried out by destructive methods (assessment of hardness, durability, structure) on specially cut templates on 1 piece. from a party to 80-100 pieces of each melting. Such control does not ensure the reliability of products, both in the quality of the base metal and heat treatment. The solution to this problem is possible by developing non-destructive quality control of each product in different periods of the process process with assessment of the properties and stress level of both the base metal (corresponding to the outer surface) and the hardened layer (inner working surface).

The intensity of cylinder wear depends on the conditions of friction of the cylinder-piston ring, which are affected by the design features of the engine (power, speed, compression ratio, cooling system, as well as fuel supply and combustion, air and oil purification system), quality of fuel and oil, operating conditions and wear resistance of the cylinder material. Wear of cylinders during friction paired with a piston ring during engine operation occurs as a result of a combination of many processes occurring simultaneously: destruction of microprojections of surfaces that are destroyed by repeated plastic deformation during engagement, as well as the destruction of tired origin; setting of the material of the microprojections with subsequent deep tearing of the metal particles during the destruction of the setting unit; accumulation of abrasive particles that contribute to the intensification of wear; abrasive action of dust particles, contribution products, solid inclusions on the surface of collapsing bodies; chemical corrosion under the influence of high temperatures of gaseous products of fuel combustion; electro-chemical corrosion from the action of acids formed during the dissolution of gaseous products in condensed water vapor on the walls of the cylinders.

Key words: tractor, liners, cylinder, control, quality, maintenance, metal.

Вступ

Основною деталлю двигунів тракторів є гільза циліндрів, від якої залежить ресурс машини в цілому. Її виготовляють із сірого чавуну (СЧ20 ДСТУ 1412-85) з додавкою легуючих елементів і піддають робочу поверхню загартовування ТВЧ. Зараз контроль якості здійснюється шляхом руйнівних методів (оцінка твердості, міцності, структури) на спеціально вирізаних темплатах по 1 шт. від партії до 80–100 штук кожної плавки. Такий контроль не забезпечує надійності продукції, що випускається, як за якістю основного металу, так і термообробки. Вирішення цієї проблеми можливим шляхом розробки неруйнівного контролю якості кожного виробу в різні періоди маршруту технологічного процесу з оцінкою властивостей і рівня напруженого стану як основного металу (відповідає зовнішній поверхні), так і загартованого шару (внутрішня робоча поверхня).

Інтенсивність зносу циліндрів залежить від умов тертя пари циліндр – поршневе кільце, на які впливають конструктивні особливості двигуна (потужність, число обертів, ступінь стиснення, система охолодження, а також подачі та спалювання палива, система очищення повітря та олії), якість застосовуваного палива та олії, умови експлуатації та зносостійкість матеріалу циліндрів. Зношування циліндрів під час тертя в парі з поршневым кільцем під час роботи двигуна відбувається в результаті поєднання багатьох процесів, що одночасно протікають [1–5]: руйнування мікроставів поверхонь, що руйнуються за рахунок багаторазового пластичного деформування при зачепленні, а також руйнування втомленого походження; схоплення матеріалу мікроставів з подальшим глибинним вирином частинок металу при руйнуванні вузла схоплення; накопичення абразивних частинок, що сприяють інтенсифікації зносу; абразивної дії частинок пилу, продуктів внеску, твердих включень на поверхні тіл, що руйнуються; хімічної корозії під впливом високих температур газоподібних продуктів згоряння палива; електро-хімічної корозії від дії кислот, утворюються при розчиненні газоподібних продуктів у сконденсованих на стінках циліндрів парах води.

Викладення основного матеріалу

Залежно від умов роботи двигуна один із зазначених процесів може бути превалюючим в

зношуванні циліндрів. У момент холодного пуску двигуна, коли на стінках циліндрів конденсуються кислоти, може переважати корозійне зношування. Після накопичення в олії продуктів внеску та пилу (особливо при несправних олійних і повітряних фільтрах) може переважати абразивне зношування.

Оцінити питомий час переважання кожного з процесів зношування в перебіг всієї експлуатації двигуна і тим більш оцінити частку зносу при цьому важко навіть для одного типу двигуна і для вихідних умов експлуатації. Саме цим пояснюється відмінність думок про переважаючий фактор у зносі циліндрів.

Як було показано вище, гільзи циліндрів працюють у важких умовах. На них діють як сили тертя, так і знакозмінні навантаження. Тому робоча поверхня гільз повинна мати високу твердість, що досягається поверхневою загартовуванням. Цей спосіб передбачає використання для їх виготовлення сірого чавуну (різного ступеня легування), а також термічну обробку зі зміцненням тільки поверхневих шарів, в результаті чого змінюється структура і підвищується твердість. Як правило, гільзи циліндрів виготовляють відцентровим методом лиття, що забезпечує формування однорідної структури та властивостей на робочій поверхні.

В даний час при термообробці гільз досить широко застосовують індукційний метод гарту струмами високої частоти (ТВЧ). Після відпрацювання режиму індукційний поверхневий загартовування забезпечується висока якість виробів і досить стабільні результати порівняно з іншими методами обробки. Вона сприяє підвищенню опору зношування і втомленому руйнуванню, знижує можливість деформацій, не викликає помітного окислення і обезвуглеводнення при обробці та експлуатації. Крім того, завдяки нагріву тільки поверхневих шарів зменшуються витрати енергії на обробку.

Головною відмінністю індукційного нагрівання від різних зовнішніх джерел тепла (в печах та інших нагрівальних пристроях) є виділення тепла безпосередньо в самому металі. При індукційному нагріванні реалізується можливість значної концентрації електричної енергії в невеликому обсязі металу, що дозволяє здійснювати нагрів з великою швидкістю.

Суть індукційного нагріву полягає в наступному. По провіднику (індуктору) проходить змінний електричний струм високої частоти. У цей час навколо індуктора утворюється змінне електромагнітне поле, силові лінії якого пронизують деталь, у поверхневі шари якої виникають вихорі струми (Фуко), що забезпечують нагрів за товщиною шару до високої температури. Критичні точки залізовуглецевих сплавів відповідають температурам, при яких протікають перетворення на умовах повільного нагріву та охолодження.

При виборі температури для швидкісного індукційного нагріву, порівняно з пічним, вносяться поправки, так як обмежений час нагрівання може виявитися недостатнім для завершення фазових перетворень. При індукційному нагріванні чавуну вище критичних точок у металевій основі розчиняється як зв'язаний, так і вільний вуглець у вигляді графіту і окремих включень цементиту. При підвищених температурах прискорюються дифузійні процеси, збільшується вміст вуглецю та легуючих елементів в аустеніті і вирівнюється його хімічний склад. Інтенсивність і ступінь насичення аустеніту залежать від кількості зв'язаного вуглецю (перліту) і графітових включень у вихідній структурі чавуна, температури і швидкості індукційного нагрівання [8]. При виготовленні та подальшій термообробці в гільзах можливо виникнення різного роду дефектів (тріщини, зміни в структурі, пов'язані з формуванням неоднорідних зон, а також занадто малих або великих значень глибини зміцненого шару та ін.).

Під час розробки неруйнівного контролю якості проводять статистичні дослідження 120 гільз циліндрів тракторних (70 шт.) і автомобільних (50 шт.) двигунів. При цьому аналізували здавальні характеристики, структуру, твердості, хімічний склад металу і зіставляли їх з показаннями коерцитивної сили (H_c).

Оскільки замірювана область H_c відповідає розміру шупів приладу, то оцінку структури, властивостей виробляли по 10 зонах, що характеризують всю цю площу, а потім показники усереднювали. Встановили, що коерцитивна сила (H_c) змінюється залежно від кристалізованих форм, розподілу та якості графіту, частки карбідної фази, кількості фериту і властивостей фаз матриці (перліт, тростит, мартенсит). Частка залишкового аустеніту мала. Аналізуються зв'язки: форма графіту – коерцитивна сила; кількість графіту – коерцитивна сила; частка фаз матриці – коерцитивна сила; мікротвердість фаз – коерцитивна сила. Крім того, досліджуючи зміни в загартованому шарі відносно основної матриці, а також вплив матриці на властивості і H_c .

Глибина проникнення імпульсів струму у виріб обмежена і дорівнює 3 мм, тому вимірювання виробляють з двох сторін гільзи (зовнішньої і внутрішньої), оскільки імпульси охоплюють як загартовану область, так і не термооброблену. Показано глибину загартованого шару змінюється. Тому при вимірах захоплюється і частина не термообробленого шару. Для з'ясування впливу гарту на показання коерцитивної сили аналізують шари: загартований + сирий порівняно з сирым.

Глибина зміцненого шару не однорідна, тому в завдання дослідження входила оцінка впливу і цього фактора на зміну величини коерцитивної сили.

Такий методичний підхід і аналіз перелічених зв'язків дозволили оцінити внесок структурного фактора, властивостей, глибини гарту, а також товщини стінки на зміну рівня H_c . Це лягло в основу розробки норм при оцінці якості загартованих гільз циліндрів.

Вимірювання коерцитивної сили показало розкид показань в межах від 13,7 до 16,2 А/см на поверхні, підданій загартовуванню ТВЧ і від 10,9 до 13 А/см на зовнішній – не оброблений.

Видно, що значення коерцитивної сили на термopідсиленій поверхні дещо вище, ніж на нетермopідсиленій. З цього випливає, що свідчення коерцитиметра безпосередньо залежать від твердості.

Статистичний аналіз коерцитивної сили і твердості дозволяє розділити гільзи на три вибірки:

- перша - коерцитивна сила має мінімальні значення ($< 14,8$ А/см), при цьому рівень твердості також знижується до рівня нижньої межі допустимих значень за вимогами ТУ;

- друга - значення твердості відповідають середнім значенням вимог ТУ (40-42HRC) і коерцитивній силі від 14,8 до 15,8 А/см;

- третя - значення коерцитивної сили і твердості максимальні, відповідаючи рівню ближче до верхньої межі (60HRC – твердість; $> 15,8$ і до 16,2 А/см – коерцитивна сила).

Детально розглянули ті вибірки, які мали відхилення по ТУ. Для цього за місцем заміру твердості зробили шліфи і оцінили структуру. На значення коерцитивної сили і твердості гільзи, не піддані термообробці, впливають різні фактори. Так, при зміні твердості можуть бути викликані ліквідацією вуглецю і, як наслідок, появою грубого первинного графіту. Також була виявлена підвищена пористість металу, що призвело до зниження твердості. Збільшення твердості у нетермооброблених гільз вище вимог ТУ (> 269 HB) визначається скупченнями нітридів і карбонітридів титану, які виділяються як у вигляді окремих включень, так і скупчень. У останньому випадку це призводить до появи значень твердості, рівних 277–295 HB, що перевищує вимоги ТУ. Спостережуване пов'язане з ліквідаційними явищами і може бути віднесено до нерівномірного розподілу модифікатора при виробництві гільзи. Як у першому, так і в другому випадку коерцитиметр відреагував на свідчення твердості і виявив низькі і високі значення. Максимальне значення твердості загартованої поверхні при статистичній обробці не перевищує 53 HRC. Також приводять коливання твердості до зміни рівня коерцитивної сили. Збільшення глибини загартованого шару до 2,02 мм призводить до зменшення твердості на 15% та зменшення значень коерцитивної сили до 18%. У термооброблених гільз в місцях розташування буртів розкид значень коерцитивної сили перевищує 20%. Оцінка коерцитивної сили по центру гільзи показала, що вона однорідна і інтервал значень знаходиться в межах 13,7–16,2 А/см, що відповідає необхідній твердості по ТУ. Ці свідчення можуть бути прийняті в якості норм при оцінці якості (однорідності властивостей) гільзи, піддані термообробці.

Висновки

1. Виконання статистичного аналізу якості загартованих гільз циліндрів дозволяє оцінити рівень їх якості (твердість, структуру, дефекти) на відповідність вимогам технічних умов (ТУ).

2. На основі даних про якість і властивостях таких гільз встановлюються закономірності впливу різних факторів на наявність коерцитивної сили.

3. Зміна структури впливає на рівень твердості, а отже, і коерцитивної сили.

4. Показано, що відхилення у властивостях загартованих гільз циліндрів пов'язані зі структурою і дефектами робочої поверхні, а також маршрутом технології процесу їх виробництва.

5. Роботу доцільно продовжити у напрямку встановлення норм неруйнівного контролю при ремонті, відновленні, технічному обслуговуванні двигуна.

Література

1. Придвижкин В.А. Экспертиза промышленной безопасности технических устройств буровых установок : учебное пособие / В.А. Придвижкин, С.Г. Бабин, Ю.Р. Гарин ; под ред. А.И. Владимирова, В.Я. Кершенбаума. – М. : Национальный институт нефти и газа, 2005. – 80 с.
2. Коллакот Р. Диагностика повреждений / Р. Коллакот ; пер. с англ. – М. : Мир, 1998. – 512 с.
3. Маслова В.А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле / Маслова В.А., Стороженко В.А. – Харьков : Компания СМІТ, 2004. – 160 с.
4. Вавилов В.П. Тепловизоры и их применение / Вавилов В.П., Климов А.Г. – М. : Интел универсал, 2002. – 88 с.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности / Лыков А.В. – М. : Высш. шк., 1967. – 599 с.
6. Стороженко В.А. Подходы к созданию стандартных образцов для теплового неразрушающего контроля / В.А. Стороженко, Н.Ф. Хорло, С.Н. Мешков, В.А. Маслова // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2005. – № 1. – С. 21–25.

References

1. Pridvizhkin V.A. Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti tehnikeskikh ustrojstv burovyyh ustanovok : uchebnoe posobie / V.A. Pridvizhkin, S.G. Babin, Yu.R. Garin ; pod red. A.I. Vladimirova, V.Ya. Kershenbauma. – M. : Nacionalnyj institut nefti i gaza, 2005. – 80 s.
2. Kollakot R. Diagnostika povrezhdenij / R. Kollakot ; per. s angl. – M. : Mir, 1998. – 512 s.
3. Maslova V.A. Termografiya v diagnostike i nerazrushayushem kontrole / Maslova V.A., Storozhenko V.A. – Harkov : Kompaniya SMIT, 2004. – 160 s.
4. Vavilov V.P. Teplovizory i ih primeneniye / Vavilov V.P., Klimov A.G. – M. : Intel universal, 2002. – 88 s.
5. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti / Lykov A.V. – M. : Vyssh. shk., 1967. – 599 s.
6. Storozhenko V.A. Podhody k sozdaniyu standartnykh obrazcov dlya teplovogo nerazrushayushogo kontrolya / V.A. Storozhenko, N.F. Horlo, S.N. Meshkov, V.A. Maslova // Tehnicheskaya diagnostika i nerazrushayushij kontrol. – 2005. – № 1. – S. 21–25.

АНАЛІЗ РЕГІОНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

В роботі розглянуті мережева та пропускна структура автомобільних магістралей Полтавської області як одного з основних чинників планування регіональних систем поводження з відходами. В рамках завдань Регіонального плану управління відходами в Полтавській області до 2030 року основна увага дослідження акцентована на аналізі можливості організації всіх етапів перевезень, передбачених планом. Відмічено можливі технологічні ускладнення та техніко-економічні наслідки незадовільної якості дорожнього покриття в більшості сільських районів області. Зазначені варіанти можливого часткового та пріоритетного вирішення проблеми незадовільного стану доріг при перспективному плануванні розвитку системи транспортування відходів. Охарактеризовано специфіку і сферу потенційного використання відкритої інформації про стан дорожнього покриття з інтернет-ресурсів державних спеціалізованих установ і організацій та спеціалізованих сайтів недержавних організацій.

Ключові слова: дорожня мережа, управління відходами, регіон, система, організація перевезень.

VIKTOR BREDUN

Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk

ANALYSIS OF THE REGIONAL HIGHWAYS NETWORK AS AN ELEMENT OF THE WASTE MANAGEMENT SYSTEM

Purpose. The purpose of the work is to analyze the network and bandwidth of the Automobile Roads of the Poltava region in order to establish the possibility of planning regional waste management systems. Methodology. In this paper, methods of finding information using modern digital technologies, systematization and analytical processing of statistical information, as well as methods of inductive logic to establish the possibility of using the Internet resources in logistical planning processes. Results. Within the framework of the tasks of the Regional Waste Management Plan in the Poltava region by 2030, the main attention is focused on the analysis of the possibility of organizing all stages of transport provided by the plan. In this context, the structure of the road network of the region is analyzed, indicated possible ways of using roads of various categories (from local to national) to organize waste transportation at all stages of the logistics process (from collecting waste in areas of settlements to the main transportation of waste between objects of the regional structure of handling with waste. Possible technological complications and technical and economic consequences of unsatisfactory road surface in most rural areas of the region are observed. These variants of possible partial and priority solution to the problem of unsatisfactory state of roads with prospective planning of the development of the waste transportation system are characterized. state of road covering from Internet resources of state specialized institutions and organizations and specialized sites of non-governmental organizations. Originality. Regional Planning Process Systems of waste management and logistics schemes for collecting solid household waste as the main structural and technological elements of these systems for the regions of Ukraine are currently located at the stage of becoming. The use of operational and promising information from open source resources for the purpose of medium-term and long-term planning is currently practically not applicable, although it has certain prospects. Practical value. The results of the research will be used in the development of a regional waste management plan in the Poltava region by 2030.

Key words: road network, waste management, region, system, organization of transportation.

Постановка проблеми

Проектування регіональних систем управління твердими побутовими відходами (ТПВ) є однією з актуальних задач сьогодення для України. На даний час система управління відходами в Україні базується на традиційному історичному підході «захоронення на місці утворення». Така стратегія практично завжди супроводжується повною відсутністю, або мінімальним ступенем переробки ТПВ та вилучення з них ресурсоцінних компонентів. Екологічні та економічні вимоги сьогодення вимагають впровадження передових світових технологій поводження з відходами [1, 2], які передбачають організацію більш складної, ніж існуюча, логістичної структури системи управління відходами. В даному контексті одним з основних ускладнюючих чинників, який відноситься до регіонально обумовлених [3], є незадовільна якість дорожньої мережі на більшості територій України (особливо в сільських районах). Тому, при розробці Регіонального плану управління відходами в Полтавській області до 2030 року виникла необхідність провести детальний аналіз дорожньої мережі області на предмет здатності забезпечення транспортно-логістичних потреб регіональної системи управління відходами.

Аналіз останніх джерел

Існує багато досліджень присвячених різним аспектам використання дорожньої мережі к чинника, що визначає ефективність господарсько-економічної діяльності. Так, наприклад, дослідження стану доріг та організації дорожнього руху як складової частини механізму забезпечення високих транспортно-експлуатаційних якостей автомобільних доріг розглянуто в [4]. В роботі [5] розглядаються чинники, що впливають на стабільність та безпеку транспортних потоків по автомагістралям. В роботі [6] висвітлено принципи організації руху транспортних потоків в умовах населених пунктів та за їх межами на дорогах різних категорій.

Виклад основного матеріалу

На території Полтавщини функціонують всі (за винятком морського) види транспорту – залізничний, автомобільний, річковий, трубопровідний, повітряний. Здійснюючи вантажні і пасажирські перевезення, окремі види транспорту взаємодіють між собою, формуючи транспортну систему. Провідне місце у перевезенні вантажів в області належить трубопровідному і залізничному транспорту, в перевезенні пасажирів – автомобільному, електричному і залізничному транспорту. В рамках реалізації програми поводження з відходами для організації збору і транспортування твердих побутових відходів може бути задіяний тільки автомобільний та в окремих випадках залізничний транспорт.

Загальна протяжність автомобільних доріг області складає 1857,4 км. Мережа доріг загального користування налічує 8875,5 км і знаходиться в підпорядкуванні Служби автомобільних доріг у Полтавській області Державної служби автомобільних доріг України. Дороги відомчого підпорядкування становлять 9199,6 км, з яких 2268,0 км ґрунтові.

Автомобільні дороги загального користування згідно [7] поділяються на дороги державного значення (міжнародні, національні та регіональні дороги) та дороги місцевого значення (територіальні, обласні та районні дороги).

Міжнародні – це дороги, що є частинами системи міжнародних транспортних коридорів та/або входять до Європейської мережі основних, проміжних, з'єднувальних автомобільних доріг та відгалужень, а також мають відповідну міжнародну індексацію і забезпечують міжнародні автомобільні перевезення. По території Полтавської області проходить дві дороги даної категорії: М03 «Київ – Довжанський» та М22 «Полтава – Олександрія». Дороги даної категорії можуть бути використані для магістрального транспортування ТПВ багатотоннажними швидкісними автомобілями.

Національні – суміщені з національними транспортними коридорами і не належать до міжнародних автомобільних доріг, та з'єднують між собою Київ, адміністративні центри областей, великі промислові і культурні центри з міжнародними автомобільними дорогами. Дороги даної категорії можуть бути використані переважно для магістрального транспортування ТПВ багатотоннажними швидкісними автомобілями, а також при плануванні регіональних логістичних схем збору ТПВ.

Регіональні – з'єднують дві або більше областей між собою або з міжнародними та національними автомобільними дорогами. Дороги даної категорії можуть бути використані як для магістрального транспортування ТПВ багатотоннажними швидкісними автомобілями, так і при плануванні регіональних і місцевих логістичних схем збору ТПВ.

Територіальні – це дороги, що з'єднують адміністративні центри областей з районними центрами, містами обласного значення, містами обласного значення між собою та адміністративні центри районів між собою або сполучають з дорогами державного значення основні аеропорти, морські та річкові порти, залізничні вузли, об'єкти національного і культурного надбання та курортного і природно-заповідного фонду. Дороги даної категорії можуть бути використані як для магістрального транспортування ТПВ багатотоннажними автомобілями, так і при плануванні регіональних і місцевих логістичних схем збору ТПВ.

Автомобільні дороги місцевого значення складають переважну частку сучасної автодорожньої мережі. До них відносяться обласні, районні або сільські.

Обласні – з'єднують адміністративні центри областей з іншими населеними пунктами області між собою та з залізничними станціями, аеропортами, річковими портами, місцями відпочинку, які не належать до доріг державного значення. Дороги даної категорії здебільшого залучаються у регіональних і місцевих логістичних схемах збору ТПВ, є основними транспортними магістралями для перевезення ТПВ від окремих сільських населених пунктів сортування, переробки чи захоронення відходів.

Районні або сільські – з'єднують районні адміністративні центри з іншими населеними пунктами району, а останні – між собою, з підприємствами, об'єктами культури, іншими дорогами загального користування в межах району. Дороги даної категорії здебільшого задіюються у місцевих логістичних схемах збору ТПВ, є основними транспортними магістралями для перевезення ТПВ від окремих сільських населених пунктів сортування, переробки чи захоронення відходів.

Організацію магістральних перевезень ТПВ по обласним і районним дорогам слід планувати тільки у виняткових випадках. Стан доріг цих двох категорій часто не відповідає вимогам організації магістральних перевезень, а структура дорожнього полотна не розрахована на рух багатотоннажних автомобілів.

Таким чином, існуюча дорожня мережа забезпечує можливість під'їзду до кожного населеного пункту області по дорогам з твердим покриттям. Однак, по сільським населеним пунктам області не всі дороги мають тверде покриття.

Важливим аспектом у проектуванні логістичної структури системи управління відходами є стан дорожньої мережі. Більшість доріг категорій О та С, по яким проходить основна частина маршрутів регіональних і місцевих логістичних схем збору ТПВ, знаходиться в незадовільному стані. Цей факт не дозволяє використовувати автомобілі в оптимальному швидкісному режимі руху. Тому, при проектуванні логістичних схем збору ТПВ, особливо регіонального рівня, важливим фактором є наявність оперативної інформації про стан дорожнього покриття в регіоні планування.

На даний час існують інтерактивні сервіси відображення оперативної інформації про стан

дорожнього покриття, як наприклад [8]. Однак, сервіси такого роду, що працюють а громадських засадах, побудовані на принципі збору інформації від добровільних агентів – учасників руху, які в певний період часу проїхали по певній ділянці шляху, і надали свою оцінку даної дороги для сервісу. Оскільки інформація з зазначених джерел не є регулярною, її постачальниками є здебільшого молоді технічно грамотні люди, які нечасто їздять дорогами категорій О та С, то, як наслідок, інформація на таких ресурсах присутня тільки по шляхам, що належать основним транспортним коридорам (рис. 1). Така ситуація є суттєвим недоліком даних сервісів і значно обмежує можливість їх використання.

Проаналізуємо можливість використання для задач маршрутизації потоків відходів на основі інформації про стан дорожньої мережі при проектуванні логістичних схем офіційних ресурсів державних організацій, таких як Агентство місцевих доріг Полтавської області, Укравтодору, Міністерства інфраструктури України [9, 10, 11] (рис. 2).

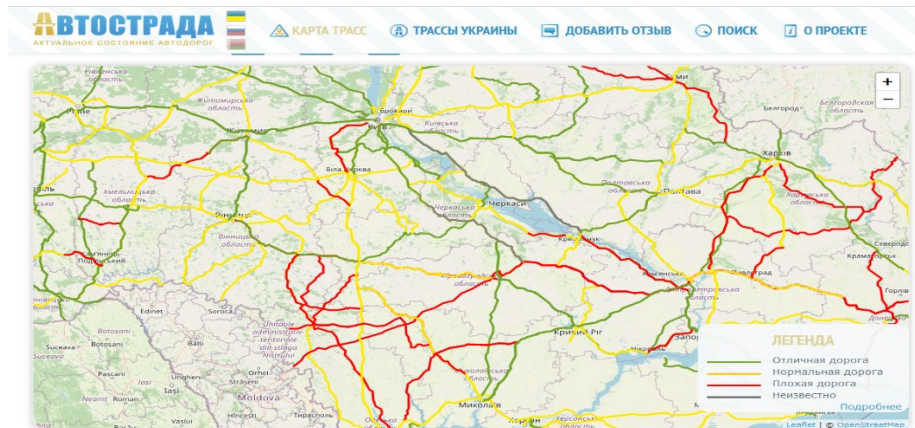


Рис. 1. Приклад подання інформації в он-лайн сервісі «Автострада»

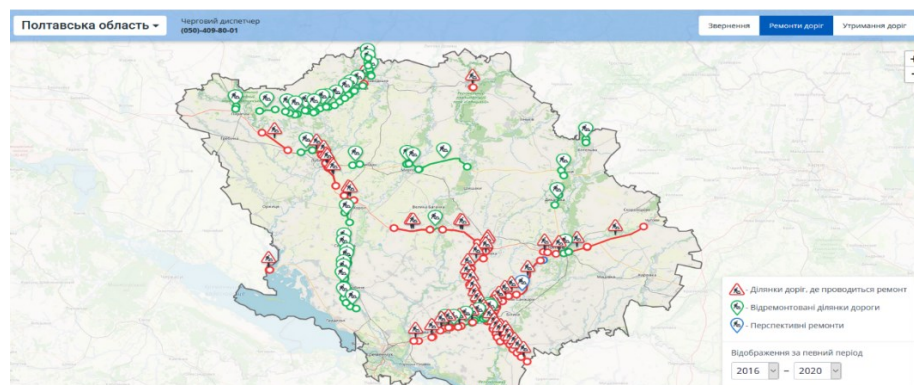


Рис. 2. Приклад подання інформації про ділянки доріг, де проходять ремонтні роботи, на сайті Укравтодору

Зазначені ресурси містять інформацію про поточні та планові ремонти дорожнього покриття на дорогах різних категорій. Тому, з великим ступенем достовірності можливо використовувати інформацію із зазначених ресурсів для перспективного прогнозування розвитку логістичної структури системи поводження з відходами в області як на короткостроковий, так і на довгостроковий період.

Висновки. Існуюча в Полтавській області дорожня мережа за своєю структурою та пропускну здатністю забезпечує всі етапи транспортно-логістичних процесів, передбачених регіональним планом. Але якість дорожнього покриття більшості трас місцевого значення, особливо доріг категорій О та С, часто є вкрай низькою, що може стати причиною неоптимальності планування маршрутів, та негативно позначитись на техніко-економічних показниках всієї системи управління відходами.

Теоретично, частковим вирішенням проблеми може стати використання інформації відкритих джерел щодо стану дорожнього покриття на різних ділянках доріг при перспективному плануванні розвитку системи транспортування відходів. Але для оперативного планування такі ресурси можуть бути малоефективними через специфіку акумулювання інформації на них. Тому, одним з головних напрямків підвищення ефективності внутрішньо-регіональних логістичних операцій з відходами є покращення стану дорожньої мережі, і особливо це стосується доріг категорій О та С.

Література

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : розпорядження КМУ від 8 листопада 2017 р. № 820-р.

2. Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами : наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 12.04.2019. № 142.
3. Особливості логістичного планування систем поведінки з ТПВ на прикладі міста Лохвиця / [О.Е. Ілляш, В. І. Бредун, В. І. Радко та ін.]. // Наук. журнал „Екологічна безпека”. – 2019. – № 2. – С. 12–17.
4. Прозоровська А. О. Методи та цілі дослідження транспортного руху вулично-дорожньої системи міста [Електронний ресурс] / А. О. Прозоровська, Д. Б. Васюкович. // Методи та цілі дослідження транспортного руху вулично-дорожньої системи міста. – 2012. – №8. – С. 200–205. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Prms_2012_8_33
5. Лановий О. Т. Забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг. / О. Т. Лановий // Вісник Національного транспортного університету. – 2013. – № 28. – С. 278–284.
6. Вікович І. А. Організація дорожнього руху / І. А. Вікович, М. М. Жук, Ю. Я. Ройко. – Львів : «НУ «Львівська політехніка», 2006.
7. Закон України «Про автомобільні дороги» зі змінами 2021 рік №2862-IV від 09.08.2005, редакція від 10.16.2020
8. Автострада. Актуальное состояние дорог [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://autostrada.info/ua/map>.
9. Агенство місцевих доріг Полтавської області [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://amd.pl.ua/>.
10. Полтавська область. Ремонт доріг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://map.ukravtodor.org/#/poltava/repairs>.
11. Ремонт доріг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://mtu.gov.ua/intermap/#15>.

References

1. Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku : rozporiadzhennia KМУ vid 8 lystopada 2017 r. № 820-r.
2. Pro zatverdzhennia Metodychnykh rekomendatsii z rozroblennia rehionalnykh planiv upravlinnia vidkhodamy : nakaz Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 12.04.2019. № 142.
3. Osoblyvosti lohistychnoho planuvannia system povodzhennia z TPV na prykladi mista Lokhvytsia / [O. E. Illiash, V. I. Bredun, V. I. Radko ta in.]. // Nauk. zhurnal „Ekolohichna bezpeka”. – 2019. – № 2. – S. 12–17.
4. Prozorovska A. O. Metody ta tsili doslidzhennia transportnoho rukhu vulychno-dorozhnoi systemy mista [Elektronnyi resurs] / A. O. Prozorovska, D. B. Vasiukovych. // Metody ta tsili doslidzhennia transportnoho rukhu vulychno-dorozhnoi systemy mista. – 2012. – №8. – S. 200–205. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Prms_2012_8_33
5. Lanovyi O. T. Zabezpechennia umov bezperervnoho, bezpechnoho ta zruchnoho rukhu transportnykh potokiv merezheiu avtomobilnykh dorih. / O. T. Lanovyi // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. – 2013. – № 28. – S. 278–284.
6. Vikovykh I. A. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu / I. A. Vikovykh, M. M. Zhuk, Yu. Ya. Roiko. – Lviv : «NU «Lvivska politehnika», 2006.
7. Zakon Ukrainy «Pro avtomobilni dorohy» zi zminamy 2021 rik №2862-IV vid 09.08.2005, redaktsiia vid 10.16.2020
8. Avtostrada. Aktualnoe sostoianye doroh [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://autostrada.info/ua/map>.
9. Ahenstvo mistsevykh dorih Poltavskoi oblasti [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://amd.pl.ua/>.
10. Poltavsko oblast. Remont dorih [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://map.ukravtodor.org/#/poltava/repairs>.
11. Remont dorih [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://mtu.gov.ua/intermap/#15>.

БРЕДУН В. І. ORCID ID: 0000-0002-8214-3878 e-mail: bvi37h@gmail.com

Надійшла/Paper received : 03.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-282-288

УДК 621.382

О. В. ОСАДЧУК, Л. В. КРИЛИК, Я. О. ОСАДЧУК, О. С. ЗВЯГІН

Вінницький національний технічний університет

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ
ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ**

Розроблено пристрій для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом HR202. На основі математичного моделювання електричних характеристик розробки отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості. Експериментально встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W=30\div 85\%$ приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості і до збільшення чутливості пристрою до вимірюваної величини – відносної вологості. Діапазон генерації автогенераторного перетворювача вологості при температурі $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ набуває значення 823 кГц (середнє значення чутливості – 16,18 кГц/%), а при температурі $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 1323 кГц (середнє значення чутливості – 29,10 кГц/%). Для підтвердження теоретичних результатів схемотехнічного рішення розробленого пристрою проведено комп'ютерне моделювання в середовищі LTSpice. Результати математичного моделювання відповідають експериментальним даним.

Ключові слова: пристрій для вимірювання вологості, частотний перетворювач, вологочутливий резистивний елемент, функція перетворення, рівняння чутливості.

A. V. OSADCHUK, L. V. KRYLIK, I. A. OSADCHUK, O. S. ZVIAHIN

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsa, Ukraine

**MATHEMATICAL SIMULATION OF A DEVICE WITH FREQUENCY OUTPUT FOR MEASUREMENT OF
HUMIDITY**

The device for measuring humidity with a moisture-sensitive resistive element HR202 has been developed. The self-generating transducer is designed as a hybrid integrated circuit based on a bipolar transistor VT1 and a field-effect two-gate transistor VT2. The negative differential resistance, which is formed by the parallel connection of the impedance with a capacitive component at the collector electrodes of the bipolar transistor VT1, the drain of the field-effect transistor VT2 and inductance L1, leads to the occurrence of electrical oscillations in the circuit. When exposed to moisture on the sensitive resistive element RW, the capacitive component of the impedance at the electrodes of the transistor structure changes, which causes an effective change in the frequency of the oscillatory circuit. On the basis of mathematical modeling of electrical characteristics, analytical expressions for the transformation function and the sensitivity equation are obtained. It has been experimentally established that an increase in the ambient temperature in the range of relative humidity $W = 30 \div 85\%$ leads to an expansion of the generation range of the autogenerating humidity transducer, as well as to an increase in the sensitivity of the device to the measured value. The generation range of the autogenerating humidity transducer at a temperature of $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ acquires a value of 823 kHz (the average value of the sensitivity is 16.18 kHz / %), and at a temperature of $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ - 1323 kHz (the average value of the sensitivity is 29.10 kHz / %).

To confirm the theoretical results of circuit solutions developed device in the computer modeling of LTSpice modeling environment. The studies were carried out at different temperatures (20°C, 30°C, 40°C, 50°C) in the range of change in the resistance of the moisture-sensitive resistive element from 1750 kOhm to 2.1 kOhm, which corresponds to an increase in the value of the relative air humidity from 30 % to 90 %.

The results of theoretical and experimental studies have shown that at the output there are periodic oscillations device for measuring the humidity rate which increases with increasing values of relative humidity. The obtained theoretical and experimental studies are in good agreement, the relative error does not exceed 2.5%.

Keywords: device for measuring humidity, frequency transducer, humidity-sensitive resistive element, conversion function, sensitivity equation.

Постановка проблеми

Важливою різновидністю вимірювальних перетворювачів є сенсори вологості. В Україні вимірювання вологості є одним із поширених напрямків вимірювань фізичних величин. Тому досить важливим завданням сучасного приладобудування та контрольно-вимірювальної техніки є вибір надійних методів вимірювання вологості для різних виробництв, створення вимірювальних приладів необхідної точності, стабільності та швидкодії, а також дослідження впливів на результат вимірювань всієї сукупності факторів, які супроводжують вимірювальний процес [1–4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розробкою та створенням первинних перетворювачів вологості на сьогоднішній день займаються провідні спеціалісти світу, тому що вимірювання вологості в газовій суміші (повітрі) суттєво впливає на якість проведення технологічних процесів як в технології мікроелектроніки, так і в різноманітних галузях промисловості. Нині розроблено різноманітні варіанти сенсорів для контролю мікрОВОЛОГОСТІ газоподібних та рідких середовищ і відносної вологості в промислових приміщеннях. Принцип дії таких сенсорів базується на зміні електрофізичних параметрів (провідності, діелектричної проникності) вологочутливої плівки при фізичній сорбції пари води із навколишнього середовища [5].

Однак, незалежно від конструктивного виконання первинних перетворювачів їх метрологічні характеристики (поріг чутливості, точність, діапазон вимірювань, постійна часу тощо) визначаються

насамперед фізико-хімічними і адсорбційними властивостями використаного сорбенту, які залежать від технології формування плівки сорбенту.

Велике різноманіття технологічних процесів, що існують в промисловості та наукових дослідженнях, вимагають високоточного контролю відносної вологості середовища. Перспективним науковим напрямком в цій сфері є створення частотних пристроїв вимірювання вологості на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором, в розвиток теорії якого значний здобуток внесли вітчизняні та закордонні вчені. Саме використання частотного принципу перетворення «вологість-частота» в поєднанні з технологією мікроелектроніки сприяє підвищенню метрологічних та економічних показників перетворювачів вологості, виготовлених у вигляді гібридних інтегральних схем [6, 7].

Отже, розробка та практичне застосування таких пристроїв є актуальною задачею.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Встановлено, що технічний рівень сенсорних систем вологості залежить насамперед від технічних розробок перетворювача, а саме його чутливих елементів, конструктивного рішення, принципу дії та технології виготовлення [8 – 14]. Це мотивує для реалізації подальших досліджень.

Метою дослідження є розробка пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором (рис. 1). Експериментальним зразком слугував вологочутливий резистивний елемент HR202.

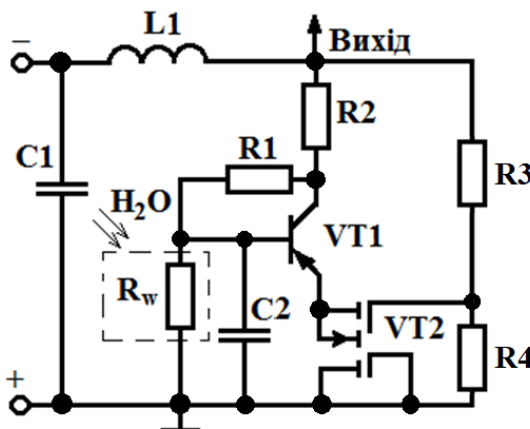


Рис. 1. Електрична схема пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості

Автогенераторний перетворювач розроблено у вигляді гібридної інтегральної схеми на основі біполярного транзистора VT1 та польового двозатворного транзистора VT2. Від'ємний диференціальний опір, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах колектор біполярного транзистора VT1, стік польового транзистора VT2 та індуктивності L1, приводить до виникнення електричних коливань в контурі. Два резистори R1, R2 та вологочутливий резистивний елемент R_w утворюють ділянку напруги для живлення біполярного транзистора та створення позитивного зворотного зв'язку, а резистори R3 та R4 – для керування польового транзистора VT2. Крім того, електричне живлення біполярного VT1 та польового VT2 транзисторів залежить від величини зміни опору вологочутливого резистивного елемента R_w зі зміною вологості досліджуваного середовища. Проходженню змінного струму через джерело постійної напруги запобігає обмежувальний конденсатор C1. При дії вологи на вологочутливий резистивний елемент R_w змінюється ємнісна складова повного опору на електродах транзисторної структури, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру. Схема мікроелектронного частотного пристрою вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом HR202 (рис.1) була зібрана на біполярному транзисторі BC857C та польовому двозатворному транзисторі BF998. Режим транзисторів VT1 і VT2 по постійному струму був таким: струм у ланцюзі колектора транзистора VT2 дорівнює 3,55 мА, а напруга на колекторі – 5 В. Опори схеми мають такі значення $R_1=2,2$ кОм; $R_2=10$ Ом; $R_3=8,2$ кОм; $R_4=5,6$ кОм. Індуктивність автогенератора складає 100 мкГн. Цьому режиму, при вологості 30 %, відповідала частота генерації 1176,470 кГц. Описана схема генератора дозволяє одержати вихідну напругу до 45 В у широкому діапазоні частот. Нестабільність частоти дорівнює $1,87 \cdot 10^{-4}$ Гц.

Без знання параметрів перетворювачів вологості неможливо їх створити, тому задача полягала в розробці математичної моделі, на основі рішення якої будуть визначені функція перетворення та рівняння чутливості.

На основі електричної схеми пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості (рис. 1), по колу позитивного зворотного зв'язку визначено рівняння, на основі якого отримано аналітичний вираз функції перетворення:

$$F = \frac{\pi \cdot R_w(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} \pm \sqrt{\pi^2 \cdot R_w^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}}{4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_w(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb}}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{де } K_1 &= 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{cb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{eb}^2, \quad K_2 = -4 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{cb}^2 - 8 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{eb} \cdot C_{cb}^2 \cdot C_{ds}, \\ K_3 &= -4 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + L_1 \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{cb}, \quad K_4 = 2 \cdot L_1 \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} + L_1 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}, \\ K_5 &= 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2. \end{aligned}$$

Позначення, які використовувались в аналітичних виразах, а саме: $R_W(W)$ – вологочутливий резистивний елемент; L_1 – індуктивність коливального контуру; C_{eb} – ємність р-п-переходу емітер-база; C_{cb} – ємність р-п-переходу колектор-база; C_{ds} – ємність стік-витік.

На основі виразу (1) теоретично розраховано та експериментально досліджено функції перетворення пристрою для вимірювання вологості. Експериментальні дослідження проводились при різних значеннях температури навколишнього середовища (рис. 2).

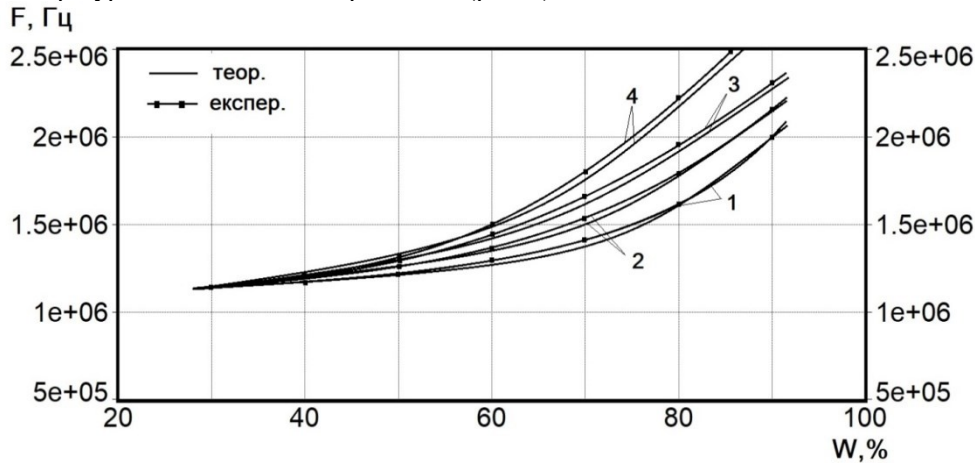


Рис. 2. Експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації від зміни відносної вологості повітря пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом: 1 – $T=20^\circ\text{C}$; 2 – $T=30^\circ\text{C}$; 3 – $T=40^\circ\text{C}$; 4 – $T=50^\circ\text{C}$

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W = 30 \div 85\%$ приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості, що в свою чергу збільшує чутливість перетворювача при збільшенні температури навколишнього середовища. Таким чином, результати досліджень показали:

- 823 кГц ($T = 20^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);
- 1026 кГц ($T = 30^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);
- 1194 кГц ($T = 40^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);
- 1323 кГц ($T = 50^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$).

На основі рівняння (1) визначено аналітичний вираз рівняння чутливості (2) розробленого пристрою:

$$\begin{aligned} S_W^F &= \frac{\pi \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right) \pm \frac{M_1 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right) + M_2 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right) + M_3 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right)}{\sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}} - \\ &\quad \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb}}{\pi \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} \pm \sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5} \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right)}, \quad (2) \\ &\quad \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb}}{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{де } M_1 &= \pi^2 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2, \\ M_2 &= 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{cb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{eb}^2, \\ M_3 &= 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2. \end{aligned}$$

Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості та температури досліджуваного середовища розробленого пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом подано на рис. 3.

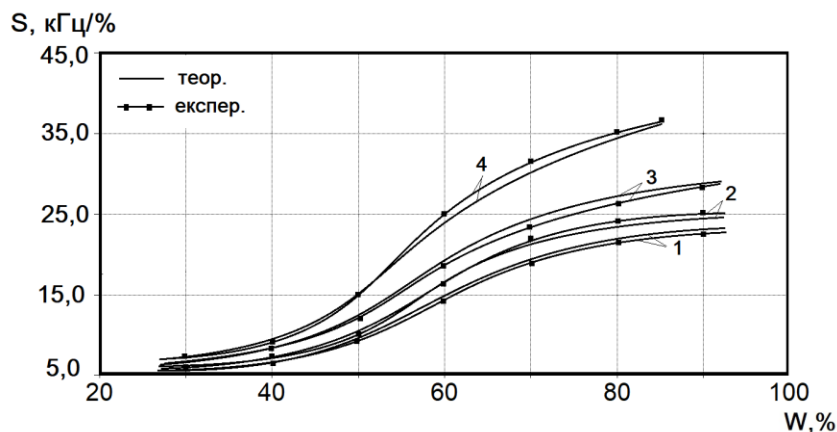


Рис. 3. Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості повітря пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом:
1 – $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$

З рис. 3 видно, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W = 30 \div 85\%$ призводить до збільшення чутливості. Середні значення чутливості при різних температурах навколишнього середовища наведені нижче:

- від 5,02 кГц/% до 21,2 кГц/% ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);
- від 5,7 кГц/% до 24,9 кГц/% ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);
- від 7,2 кГц/% до 28,05 кГц/% ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);
- від 8,3 кГц/% до 37,4 кГц/% ($T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$).

Для підтвердження теоретичних результатів та проведення експериментальних досліджень електричне коло мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом (рис. 1) було досліджене в середовищі схемотехнічного моделювання *LTSpice XVII* [15]. Дослідження проводились при різних температурах (20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C) в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W)=1750\text{ кОм}$ до $R_W(W)=2,1\text{ кОм}$, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 30% до 90%.

Так на рис. 4 наведено експериментальну залежність струму індуктивності від часу при 20 °C та 35%, 60%, 90% вологості.

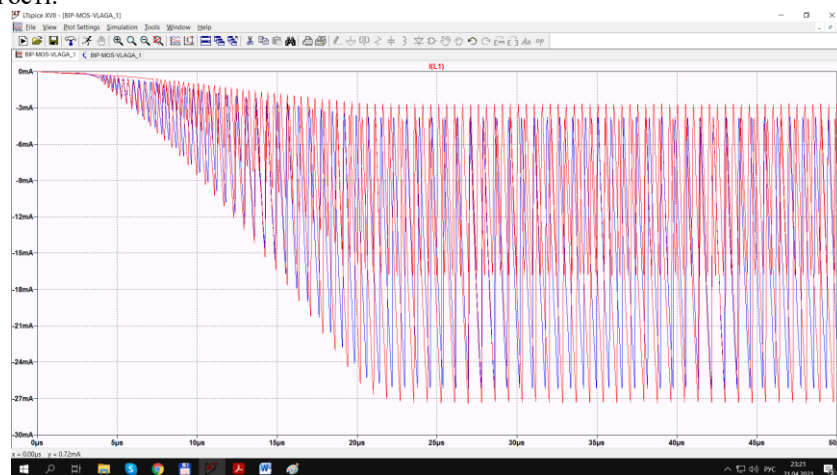


Рис. 4. Залежність струму індуктивності від часу при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента в *LTSpice* при 20 °C та 35%, 60%, 90% вологості

На рис. 5 наведено промодельовану вихідну змінна напруга мікроелектронного частотного перетворювача вологості при температурі 20 °C та відносній вологості 35%, 60%, 90%. Вихідна частота перетворювача при 35% складає 1176,47 кГц, при 60% складає 1265,822 кГц, а при 90% відносної вологості складає 2000,00 кГц.

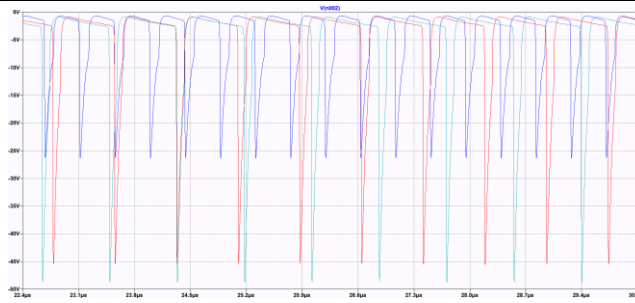


Рис. 5. Залежність вихідної змінної напруги в часі при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента в LTSpice при 20 °C та 35%, 60%, 90% вологості

На рис. 6 наведено промодельована вихідна змінна напруга мікроелектронного частотного перетворювача вологості при температурі 50 °C та відносній вологості 35%, 60%, 85%. Вихідна частота перетворювача при 35% складає 1204,819 кГц, при 60% складає 1408,45 кГц, а при 85 % відносної вологості складає 2500,00 кГц.

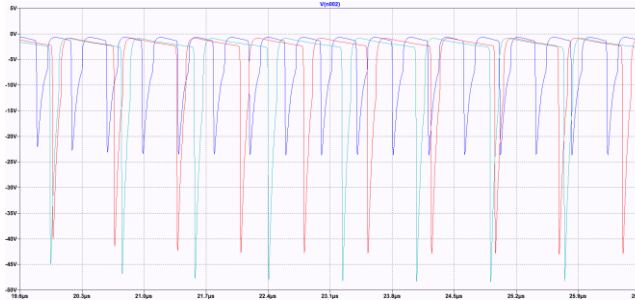


Рис. 6. Залежність вихідної змінної напруги в часі при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента в LTSpice при 50 °C та 35%, 60%, 85% вологості

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень легко бачити, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості дійсно будуть існувати періодичні коливання частота яких буде збільшуватись зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Порівнявши отримані теоретичні та експериментальні значення частоти вихідного сигналу було встановлено, що відносна похибка не перевищує 2,5%.

Висновки. Розроблено пристрій з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом HR202. Доведено, що електричні характеристики сенсорних систем вологості залежать як від конструктивних рішень пристрою для вимірювання вологості, так і від конструктивних та технологічних особливостей чутливого елемента.

Проведено математичне моделювання пристрою, на основі якого визначено аналітичні вирази функції перетворення та рівняння чутливості. Експериментально встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W=30\div85\%$ приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості і до збільшення чутливості пристрою до вимірюваної величини – відносної вологості. Діапазон генерації автогенераторного перетворювача вологості при температурі $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ набуває значення 823 кГц (середнє значення чутливості – 16,18 кГц/%), а при температурі $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 1323 кГц (середнє значення чутливості – 29,10 кГц/%).

Для підтвердження теоретичних результатів схемотехнічне рішення розробленого пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості досліджено в середовищі моделювання LTSpice. Дослідження проводились при різних температурах (20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C) в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W)=1750\text{ кОм}$ до $R_W(W)=2,1\text{ кОм}$, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 30% до 90%. Результати теоретичних та експериментальних досліджень показали, що на виході пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості існують періодичні коливання, частота яких збільшується зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 2,5%.

Література

1. Датчики : справочное пособие / под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с.
2. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон. – Москва : Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Bozhi, Yang, Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes [Electronic resource] / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical. – 30 March 2006. – Vol. 114, – № 1. – P. 254 – 262. – Mode of access: https://biomems.me.columbia.edu/research/PDFs/jour/Bozhi_06_Compliant_Low-Cost_Humidity_Nanosensor.pdf

(date of access 10.05.2021). – Title from screen.

4. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption [Electronic resource] / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // *Sensors*. – 2016. – № 16. – P. 1135; doi:10.3390/s16071135. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/305522000_Design_and_Development_for_Capacitive_Humidity_Sensor_Applications_of_Lead-Free_CaMgFeTi-Oxides-Based_Electro-Ceramics_with_Improved_Sensing_Properties_via_Physisorption (date of access 10.05.2021). – Title from screen.

5. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review [Electronic resource] / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // *Sensors*. – 2014. – № 14. – P. 7881 – 7939. doi:10.3390/s140507881. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/262015128_Humidity_Sensors_Principle_Mechanism_and_Fabrication_Technologies_A_Comprehensive_Review/link/00b495368b08331ae9000000/download (date of access 10.05.2021). – Title from screen.

6. Nathan, Lazarus. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor [Electronic resource] / Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder // *Journal of microelectromechanical system*. – february 2010. – Vol. 19, – № 1. – P.183 –191. doi: 10.1109/JMEMS.2009.2036584. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/224088790_CMOS-MEMS_capacitive_humidity_sensor (date of access 10.05.2021). – Title from screen.

7. Осадчук В. С. Сенсори вологості : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2003. – 208 с.

8. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 275 с.

9. Osadchuk A.V. Optical transducers with frequency output / A.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.A. Osadchuk, Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov // *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, 2017, 104451X* (2017). – Mode of access: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10445/104451X/Optical-transducers-with-frequency-output/10.1117/12.2280892.full?SSO=1> (date of access 10.05.2021). – Title from screen.

10. Osadchuk A.V. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors / A.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.A. Osadchuk, O.O. Seletska, P. Kisała, K. Nurseitova // *Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019; 111761I* (2019). – Mode of access: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11176/111761I/Theory-of-photoreactive-effect-in-bipolar-and-MOSFET-transistors/10.1117/12.2538264.full> (date of access 10.05.2021). – Title from screen.

11. Osadchuk A. Microelectronic Transducer of Gas Concentration based on MOSFET with an Active Inductive Element / A. Osadchuk, V. Osadchuk, O. Seletska, L. Krylik // *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, R. 95. Warszawa, Poland. – 2019. – NR 4. – P. 237 – 241. ISSN 0033-2097, doi:10.15199/48.2019.04.45. – Mode of access: <http://pe.org.pl/articles/2019/4/45.pdf> (date of access 10.05.2021). – Title from screen.

12. Осадчук О. В. Математична модель параметричного перетворювача вологості з частотним виходом / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, Я. О. Осадчук // *Прикладні питання математичного моделювання*. – 2020. – Т. 3, № 2.1. – С. 206–215. – Режим доступу:

https://mkmm.org.ua/archive_mkmm/%D0%9F%D0%9F%D0%9C%D0%9C%20%D0%A2.3%20%E2%84%962%20%D0%A7.1.pdf (дата звернення 10.05.2021). – Назва з екрана.

13. Осадчук О. В. Математична модель мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, О. О. Селецька // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2019. – № 5(277). – С. 195–198. – Режим доступу: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/01/277-2019-5-t.pdf> (дата звернення 10.05.2021). – Назва з екрана.

14. Осадчук О.В. The radiomeasuring humidity sensor with the frequency output signal / О. В. Осадчук, О. С. Звягін, А. Ю. Савицький, С. В. Барабан, О. О. Селецька // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2016. – №6. – С. 216–218. – Режим доступу:

[http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2016/2016_6/\(243\)%202016-6-t.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2016/2016_6/(243)%202016-6-t.pdf) (дата звернення 10.05.2021). – Назва з екрана.

15. Володин В. Я. LTspice : компьютерное моделирование электронных схем / В. Я. Володин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.

References

1. Datchiki : spravocnoe posobie / pod obsh. red. V. M. Sharapova, E. S. Polishuka. – Moskva : Tehnosfera, 2012. – 624 s.
2. Dzhekson R. G. Novejshe datchiki / R. G. Dzhekson. – Moskva : Tehnosfera, 2007. – 384 s.
3. Bozhi, Yang. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes [Electronic resource] / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // *Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical*. – 30 March 2006. – Vol. 114, – № 1. – P. 254 – 262. – Mode of access: https://biomems.me.columbia.edu/research/PDFs/jour/Bozhi_06_Compliant_Low-Cost_Humidity_Nanosensor.pdf (date of access 10.05.2021). – Title from screen.

4. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption [Electronic resource] / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // *Sensors*. – 2016. – № 16. – P. 1135; doi:10.3390/s16071135. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/305522000_Design_and_Development_for_Capacitive_Humidity_Sensor_Applications_of_Lead-Free_CaMgFeTi-Oxides-Based_Electro-Ceramics_with_Improved_Sensing_Properties_via_Physisorption (date of access 10.05.2021). – Title from screen.
5. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review [Electronic resource] / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // *Sensors*. – 2014. – № 14. – P. 7881 – 7939. doi:10.3390/s140507881. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/262015128_Humidity_Sensors_Principle_Mechanism_and_Fabrication_Technologies_A_Comprehensive_Review/link/00b495368b08331ae9000000/download (date of access 10.05.2021). – Title from screen.
6. Nathan, Lazarus. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor [Electronic resource] / Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder // *Journal of microelectromechanical system*. – february 2010. – Vol. 19, – № 1. – P.183 –191. doi: 10.1109/JMEMS.2009.2036584. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/224088790_CMOS-MEMS_capacitive_humidity_sensor (date of access 10.05.2021). – Title from screen.
7. Osadchuk V. S. Sensory volohosti : monohrafiia / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk. – Vinnytsia : UNIVERSUM – Vinnytsia, 2003. – 208 s.
8. Osadchuk V. S. Reaktyvni vlastyvoli tranzystoriv i tranzystornykh skhem : monohrafiia / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk. – Vinnytsia : UNIVERSUM – Vinnytsia, 1999. – 275 s.
9. Osadchuk A.V. Optical transducers with frequency output / A.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.A. Osadchuk, Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov // *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104451X (2017). – Mode of access: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10445/104451X/Optical-transducers-with-frequency-output/10.1117/12.2280892.full?SSO=1> (date of access 10.05.2021). – Title from screen.
10. Osadchuk A.V. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors / A.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.A. Osadchuk, O.O. Seletska, P. Kisała, K. Nurseitova // *Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2019; 111761I (2019). – Mode of access: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11176/111761I/Theory-of-photoreactive-effect-in-bipolar-and-MOSFET-transistors/10.1117/12.2538264.full> (date of access 10.05.2021). – Title from screen.
11. Osadchuk A. Microelectronic Transducer of Gas Concentration based on MOSFET with an Active Inductive Element» / A. Osadchuk, V. Osadchuk, O. Seletska, L. Krylik // *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, R. 95. Warszawa, Poland. – 2019. – NR 4. – P. 237 – 241. ISSN 0033-2097, doi:10.15199/48.2019.04.45. – Mode of access: <http://pe.org.pl/articles/2019/4/45.pdf> (date of access 10.05.2021). – Title from screen.
12. Osadchuk O. V. Matematychna model parametrychnoho peretvoriuvacha volohosti z chastotnym vykhodom / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, Ya. O. Osadchuk // *Prykladni pytannia matematychnoho modeliuvannia*. – 2020. – T. 3, № 2.1. – S. 206–215. – Rezhym dostupu: https://mkmm.org.ua/archive_mkmm/%D0%9F%D0%9F%D0%9C%D0%9C%20%D0%A2.3%20%E2%84%96%20%D0%A7.1.pdf (data zvernennia 10.05.2021). – Nazva z ekrana.
13. Osadchuk O. V. Matematychna model mikroelektronnoho vymiriuvacha volohosti z chastotnym vykhodom / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, O. O. Seletska // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2019. – № 5(277). – S. 195–198. – Rezhym dostupu: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/01/277-2019-5-t.pdf> (data zvernennia 10.05.2021). – Nazva z ekrana.
14. Osadchuk O.V. The radiomeasuring humidity sensor with the frequency output signal / O. V. Osadchuk, O. S. Zviahin, A. Yu. Savitskyi, S. V. Baraban, O. O. Seletska // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. – 2016. – №6. – S. 216–218. – Rezhym dostupu: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2016/2016_6/\(243\)%202016-6-t.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2016/2016_6/(243)%202016-6-t.pdf) (data zvernennia 10.05.2021). – Nazva z ekrana.
15. Volodin V. Ya. LTspice : kompyuternoe modelirovanie elektronnykh shem / V. Ya. Volodin. – SPb. : BHV-Peterburg, 2010. – 400s.

Надійшла/Paper received : 12.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://journals.khnu.km.ua/vestnik/support.htm>

Підп. до друку 28.05.2021 р. Ум. друк. арк. 41,08 Обл.-вид. арк. 39,08
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63