

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2022

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2022, Issue 1, Volume 305

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, 2022, № 1(305)

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

Наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського http://nbuv.gov.ua/j-tit/Vchnu_tekh

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aUUP9OYAAAAAJ
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, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем 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., **Горященко С. Л.**, к.т.н., **Гرابко 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., **Бубуліс Альгімантас**, доктор наук (Литва), **Елсаєд Ахмед Ельнашар**, доктор наук (Єгипет), **Кальчинські Томаш**, доктор наук (Польща), **Лунтовський Андрій**, д.т.н. (Німеччина), **Любош Хес**, доктор наук (Польща), **Матушевський Мацей**, доктор наук (Польща), **Мушлевський Лукаш**, доктор наук (Польща), **Мушял Януш**, доктор наук (Польща), **Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, д.т.н., (Грузія), **Попов Валентин**, доктор природничих наук (Німеччина)

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 12 від 23.02.2022 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.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

© Хмельницький національний університет, 2022
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2022

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ

ВОВК О. Б., СИМАК А. В., ПАШКЕВИЧ В. З., СИМАК Д. М. ЕКОЛОГІЧНА САМОДОСТАТНІСТЬ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЯК ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ БАЗИС ЙОГО РОЗВИТКУ	6
МЕЛЬНИК Л. І., СВДЕРСЬКИЙ В. А., ЧЕРНЯК Л. П. ОСОБЛИВОСТІ ВУЛКАНІЧНИХ ПОРІД ЯК МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТИВ	14
АДАМЧУК Л. О. МЕЛІСОПАЛІНОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕДІВ ПІВДЕННОЇ БЕСАРАБІЇ	20

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

ЗАХАРКЕВИЧ О. В., КОШЕВКО Ю. В., ЛИСЕНКО С. М. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА УПОРЯДКУВАННЯ МОДНОГО ГАРДЕРОБУ	25
СТЕЦЮК М. В., КАШТАЛЬЯН А. С. АБСТРАКТНА МОДЕЛЬ ВПЛИВІВ ЗЛОВМИСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	31
СТИСЛО Т. Р., ВАЩИШАК С. П., БОЙЧУК А. М., СТИСЛО О. В., ДОЦЕНКО Я. І. АНАЛІЗ СТАНУ ІТ РИНКУ УКРАЇНИ	43
КРИВЕНЧУК Ю. П., БУРАК М. Т. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ НАДБУДОВ SELENIUM ТА BEAUTIFULSOUP	50
МІХАЛЕВСЬКИЙ В. Ц. ОСОБЛИВОСТІ БАЗОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ МОДЕЛЮВАННЯ 3D-ОБ'ЄКТІВ У SKETCHUP	53
МІХАЛЕВСЬКА Г. І., МІХАЛЕВСЬКИЙ В. Ц. ВИКОРИСТАННЯ ПОНЯТЬ ТЕОРІЇ ГРАФІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ МЕРЕЖ	59
ВОЙТКО В. В., БЕВЗ С. В., БУРБЕЛО С. М., СТАВИЦЬКИЙ П. В. ТЕХНОЛОГІЯ АУДИОГЕНЕРАЦІЇ СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ТА АНАЛІЗУ МУЗИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ .	64
КАЛИТА О. Д. МЕТОД ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДІЛЯНОК ОБЛИЧЧЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗМІН ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ	68
КРАСИЛЕНКО В. Г., НІКІТОВИЧ Д. В. МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРАЩЕНИХ СЛПІХ ЕЛЕКТРОННИХ ЦИФРОВИХ ПІДПИСІВ 2D ТИПУ ДЛЯ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ	72
ЛПЦИНСЬКА Л. Б., ДОБРОВОЛЬСЬКА Н. В. ПЕРСПЕКТИВНІ ПРОГРАМНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ У БІЗНЕСІ	78
РОЗЛОМІЙ І. О. МЕТОД ПОБУДОВИ МАТРИЧНИХ РЕШТОК КАРДАНО ДЛЯ СТИСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ	84
ТАЛАНЧУК Д. О., МАРКОВЕЦЬ О. В. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ЗАХОДІВ ІЗ ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ INSTAGRAM-СТОРІНКИ	90

ШАХОВСЬКА Н., СИДОР П. РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ БЕЗПЕЧНИХ ТУРИСТИЧНИХ ПОДОРОЖЕЙ	96
СОКОЛОВСЬКА О. Г., ВАЛЕВСЬКА Л. О., ШОФУЛ І. І. 3D ТЕХНОЛОГІЇ – СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНЖИНІРИНГУ ПІДПРИЄМСТВ ГАЛУЗІ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА	102
YAKIV YUSYN, TETIANA ZAVOLOTNIA METAMORPHIC TESTING-AS-A-SERVICE: A NEW DESIGN PATTERN OF CLOUD SERVERLESS SYSTEMS FOR METAMORPHIC TESTING	107
КАЛИТА О. Д. МЕТОД ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДІЛЯНОК ОБЛИЧЧЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗМІН ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ	116
ЛОПАТТО І. Ю., ГОВОРУЩЕНКО Т. О., КАПУСТЯН М. В. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АГЕНТ ВЕРИФІКАЦІЇ ВРАХУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ В ПРОЦЕСІ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ	120
КРАВЦОВ А. Г., ЛЕВКІН Д. А., БЕРЕЖНА Н. Г. МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ МОЖЛИВИХ РИЗИКІВ У РОЗВ'ЯЗАННІ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ	124

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ШЛЯХИ УСУНЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ У ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ ПРЕСІВ ДЛЯ ВИРУБКИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	128
СТЕПЧИН Я. А., ОТАМАНСЬКИЙ В. В., МАЛИШЕВ І. П. АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИСОКОШВИДКІСНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛАХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ВРАХУВАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ НЕЛІНІЙНОСТІ	134
БУРЛАКА С. А. АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЗІ ЗМІШУВАЧЕМ ПАЛИВ	140

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

ГОНЧАРЕНКО Ю. П., ПРЯДКО В. А., ПОЛЕЩУК І. І., СИНЬКІВСЬКИЙ В. А., ОСТРА Н. В. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ЗОНДУЮЧОГО СИГНАЛУ ЗАСОБІВ ЛОКАЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	145
КУТІН В. М., КУТІНА М. В., КОВАЛЬОВ А. І. ПРИНЦИП ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З НАПРУГОЮ 6- 35 КВ	152
ГОНЧАРЕНКО Ю. П., КОВБАСЮК С. В., ПОЛЕЩУК І. І., ТЕПТЯ В. В., ПРЯДКО В. А. ОБґРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	159

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

ВОЗНА Н. Я., МАКОГІН В. Б. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТРУКТУРИЗАЦІЇ МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ У РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ	168
ОСАДЧУК Я. О., ОСАДЧУК О. В., ОСАДЧУК В. С. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОГЕНЕРАТОРНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ	175

IGOR PARKHOMEY, JULIY VOIKO

RADAR TECHNIQUE FOR AIRCRAFT WITH AN ARTIFICIALLY REDUCED RCS UNDER
CONDITIONS OF APPLICATION A RESONANT ELECTROMAGNETIC FIELD 184

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**НАЛІУЄВА ВАНАР САБІР ГІЗІ**

NEW METHODS OF MILK AND DAIRY PRODUCTS PROCESSING AND HEALTH EFFECTS 191

ГАНЗЮК А. Я., МАСЛО Л. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДГОНКИ ПАЛИВА НА ЙОГО ОСНОВНІ ФІЗИКО-
ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ 196

ЄФІМОВА В. Г., ПИЛИПЕНКО Т. М., СІРЕНЬКА О. О.

РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙНОГО КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ З ЕКСТРАКТОМ МОРСЬКОГО
КОЛАГЕНУ 205

ЗАСОРНОВА І. О., ОЧКУРЕНКО В. І., ЗАСОРНОВ О. С., ТЕЛУШКІНА О. А., САРАНА О. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ НАЦІОНАЛЬНИХ СОРОЧОК
ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ СУЧАСНИХ ЖІНОЧИХ СУКОНЬ, ВИКОНАНИХ В ЕТНО-СТИЛІ 209

ЧУЙКО М. М., ЧУЙКО А. М.

ЕФЕКТИВНІСТЬ СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВИХ ЖИРІВ ТА МОЖЛИВІСТЬ ПОДОВЖЕННЯ ЇХ
ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ 218

ПРИСЯЖНЮК Д. В.

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗИ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ ОЗОНОПОВІТРЯНОЮ СУМІШШЮ ПРИ
ВІБРАЦІЙНОМУ СУШІННІ 224

РІПКА Г. А., МАЗНЄВ Є. О., ТЕЛУШКІНА О. А., ЗАСОРНОВА І. О.

СПОСІБ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПРАННЯ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТКАНИНИ 228

САРАНА О. М., МАЗНЄВ Є. О., ЗАСОРНОВ О. С., ВОРОБІЙОВ О. В.

ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ ДЛЯ МОТОЦИКЛІСТІВ-
АМАТОРІВ 233

ЦУРКАН О. В.

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ
ВИСОКОВОЛОГОГО НАСІННЯ БАШТАННИХ КУЛЬТУР 240

ХОРОЛЬСЬКИЙ В. П., КОРЕНЕЦЬ Ю. М., ПЕТРУШИНА Ю. М., РАСЧЕХМАРОВ І. В.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАМОРОЖУВАННЯ
ПРОДУКЦІЇ В ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕРАХ ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ 247

ЩЕРБАНЬ В. Ю., КОЛИСКО О. З., КОЛИСКО М. І., КИРИЧЕНКО А. М., ЩЕРБАНЬ Ю. Ю.

КОМП'ЮТЕРНІ ПРОЦЕДУРИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
НАПРУЖЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ПОДАЧІ НИТКИ НА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИНАХ 256

РУТКЕВИЧ В. С., КУШНІР В. П., ОСТАПЧУК О. О.

ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ВИВАНТАЖЕННЯ СТЕБЛОВИХ КОРМІВ З ТРАНШЕЙНИХ
СХОВИЩ 260

КРИЖАК Л. М.

АНТОЦІАНИ ІЗ КВІТІВ CLITORIA TERNATEA 269

DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-6-13

УДК 3.071:378:504

BOBK O. B.

ORCID ID: 0000-0001-5523-0901

e-mail: olena.b.vovk@lpnu.ua

СИМАК А. В.

ORCID ID: 0000-0001-5523-0901

e-mail: anastasiia.v.symak@lpnu.ua

ПАШКЕВИЧ В. З.

ORCID ID: 0000-0002-6849-652X

e-mail: volodymyr.z.pashkevych@lpnu.ua

СИМАК Д. М.

ORCID ID: 0000-0002-9256-7981

e-mail: dmytro.m.symak@lpnu.ua

Національний університет «Львівська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНА САМОДОСТАТНІСТЬ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЯК ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ БАЗИС ЙОГО РОЗВИТКУ

В статті розглянуто найпоширеніші світові практики та підходи до формування екологічної самодостатності організацій, зокрема, закладу вищої освіти (ЗВО), відзначено їх характерні особливості, а також сильні та слабкі сторони. Наведено статистичні дані та проведено порівняння джерел екологічної самодостатності в Україні та за кордоном, а також зроблено зіставлення (проаналізовано) особливості діючих моделей екологічної самодостатності ЗВО м. Львова. Окрім того, в статті подано аналіз актуальних новацій в контексті ефективності застосування ресурсного підходу до системи екологічної самодостатності ЗВО. Окреслені основні перешкоди в реалізації принципу екологічної самодостатності ЗВО та складнощі у формуванні внутрішніх бюджетів. Також розглянуто питання планування, реалізації, контролю, оптимізації та вдосконалення екологічної самодостатності організацій в цілому, і ЗВО зокрема, за рахунок самофінансування, як основи самоврядування, в умовах екологічної самодостатності. Запропоновано варіант постійних джерел реалізації базового та (або) первинного рівня екологічної самодостатності бюджету ЗВО, подано опис переваг та недоліків представленого варіанту екологічної самодостатності, а також проаналізовано вимоги щодо забезпечення функціонування такого механізму на прикладі «Львівської політехніки» і сформульовано відповідні висновки з даного дослідження.

Ключові слова: заклад вищої освіти (ЗВО), екологічність, самодостатність, технології, економіка, фінанси.

OLENA VOVK, ANASTASIYA SYMAK, VOLODYMYR PASHKEVYCH, DMYTRO SYMAK
Lviv Polytechnic National University

ECOLOGICAL SELF-SUFFICIENCY OF THE INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION AS AN ECOLOGICAL AND ECONOMIC BASIS OF ITS DEVELOPMENT

From the standpoint of environmental theory, the concept of environmental self-sufficiency of higher education institution (HEI) can be interpreted as an essential attribute of any civilized scientific (educational, social, etc.) community, which is a form of management of internal and (or) external natural and material resources with maximum environmental and economic benefits for ourselves.

In the scientific literature there is a classification of well-known in world practice models of organization of such economic activities, which is based on relations between all stakeholders in this process, which includes central government and local government: for HEI, in general, and "Lviv Polytechnic", in particular, the support is on the state level and the Ministry of Education and Science of Ukraine and the city administration.

The article considers the most common world practices and approaches in the organization of environmental self-sufficiency of organizations, in particular, higher education institutions, notes their characteristics, as well as strengths and weaknesses. Statistical data are presented and the sources of ecological self-sufficiency of HEI in Ukraine and abroad are compared, and the peculiarities of the current models of ecological self-sufficiency of the HEI economic zone of Lviv are compared and analysed.

In addition, the article presents an analysis of current innovations in the context of the effectiveness of the resource approach to the system of environmental self-sufficiency of the HEI economic zone. Also the main obstacles to the implementation of the principle of environmental self-sufficiency of the HEI economic zone and difficulties in the formation of internal budgets are outlined of it.

The issues of planning, implementation, control, optimization and improvement of environmental self-sufficiency of organizations in general, and HEI economic zones in particular, through self-financing as the basis of self-government in terms of environmental self-sufficiency are also considered.

The variant of constant sources of realization of basic and (or) primary level of ecological self-sufficiency of the budget of ZVO is offered, the description of advantages and lacks of the presented variant of HEI ecological self-sufficiency is given, and also requirements for maintenance of functioning of such mechanism on the example of "Lviv Polytechnic" and formulated relevant conclusions from this study.

Keywords: higher education institution (HEI), environmental friendliness, self-sufficiency, technology, economy, finances

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Введемо поняття екологічної самодостатності закладу вищої освіти, спираючись на визначення, подані нижче. Згідно [9] самодостатність – це:

1) властивість об'єкту, що виникає природним чином та з можливістю подальшого існування без стороннього впливу;

2) властивість стабільного та тривалого (на історично значущому відрізку часу) або нестабільного та короткочасного існування активної системи при незмінному стані зовнішнього простору чи іншого, наприклад, у людській свідомості, оточення.

Екологічність – взаємозв'язок з навколишнім середовищем, що характеризується високою здатністю ефективної взаємодії людини та природи, забезпечуючи максимальний комфорт та ефективне використання наявних ресурсів [9].

Тоді, термін «екологічна самодостатність закладу вищої освіти» можна визначити як: децентралізована форма в управлінні вищим навчальним закладом, яка передбачає самостійність, автономність при використанні певних ресурсів (або відмову від певних їх категорій) з метою підвищення загального показника екологічності закладу.

Актуальність дослідження обумовлена, з одного боку, великою зацікавленістю до ефективного розв'язання задач, пов'язаних з екологічними питаннями в сучасних умовах, з іншого – недостатністю їх вивчення, розроблення та впровадження. Тому, розгляд питань, пов'язаних з даною тематикою, має важливу як теоретичну, так і практичну цінність.

Також в статті визначено якісні параметри та кількісні показники, які відповідають поняттю екологічної самодостатності закладу вищої освіти та які повинні бути фактично виміряні для формування чіткої картини щодо ефективного прийняття рішень в тій чи іншій ситуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

З позиції екологічної теорії [3] поняття екологічної самодостатності закладу вищої освіти можна трактувати як неодмінний атрибут будь-якої цивілізованої наукової (освітньої, суспільної тощо) громади, що є однією з форм управління внутрішніми та (або) зовнішніми природними та матеріальними ресурсами з максимальною еколого-економічною вигодою для себе. У науковій літературі найчастіше зустрічається класифікація відомих у світовій практиці моделей організації ведення такої економічної діяльності, в основі якої є відносини між всіма зацікавленими сторонами цього процесу, до якого входять органи центральної влади та органи місцевого самоврядування (управління): для ЗВО, в цілому, і «Львівської політехніки», зокрема, є підтримка на рівні держави та Міністерства освіти і науки України та адміністрації міста. Зокрема, найбільше поширення отримали такі моделі екологічної самодостатності як:

- класична;
- континентальна;
- змішана;
- «радянська».

Коротко розглянемо всі ці моделі, хоча перелік розглянутих моделей не є вичерпним.

Класична модель поширена, переважно, у північних регіонах Європи (наприклад, Швеція, Данія, Фінляндія) [1, 2], де природні та матеріальні ресурси є досить обмежені внаслідок географічного розміщення. Тому еколого-економічному використанню вторинних ресурсів відводиться найбільша та найактуальніша увага.

Основними рисами цієї моделі є повна самостійність та автономність місцевих ЗВО у питаннях екології та економіки, а також контроль за дотриманням використання цієї моделі. Відносини між центральною владою і керівництвом ЗВО на місцях визначаються принципом «діяти в межах дозволених повноважень». При цьому, реалізуються лише ті дії, які безпосередньо передбачені національним законодавством. Всі інші дії вважаються вчиненими з перевищенням повноважень і можуть бути визнані неправомірними.

Континентальна модель організації еколого-економічного використання вторинних ресурсів отримала поширення у Центральній та Південній Європі (зокрема, Франції, Італії, Іспанії) [2, 5]. Відмінними ознаками цієї моделі є прагнення гармонійного поєднання використання місцевих природних та матеріальних ресурсів в умовах чіткого державного регулювання. Це дещо сповільнює діяльність у межах еколого-економічного використання вторинних ресурсів через необхідність погодження всіх кроків з місцевою адміністрацією і керівними органами вищого рівня.

Варіант, який поєднує в собі риси кожного з двох вищеописаних підходів, реалізовано у змішаній моделі екологічної самодостатності, яка володіє певними специфічними ознаками, важливою рисою яких є яскраво виражене поєднання автономного самоврядування на нижньому рівні (тобто, ЗВО) та участь державного управління (на більш високому рівні). До країн з такою моделлю можна віднести Німеччину, Австрію, деякі постсоціалістичні країни [1, 2].

З прийняттям Євросоюзом наприкінці 2019 року Європейської зеленої угоди (EU Green Deal) [10] на сьогодні відмінності між усіма згаданими моделями не носять принципового характеру. Сучасна їх форма є результатом послідовних базових і специфічних реформ в наукових та практичних напрямках. Коротко

виклад основних тезисів «зеленого енергетичного підходу» представлено на рис. 1 (сформовано за матеріалами [6, 11]).

Принципово відрізняється від розглянутих вище моделей, так звана «радянська модель», яка донедавна широко використовувалася в низці країн з просоціалістичним підходом управління державою. Зараз в тій чи іншій формі вона присутня лише декількох країнах, що зберегли соціалістичну орієнтацію (Китай, Куба), а також в деяких державах, утворених з колишніх республік Радянського Союзу (Республіка Білорусь, Узбекистан) [7, 8]. Для даної моделі характерне:

- централізація всіх наявних природних та матеріальних ресурсів;
- директивне (нав'язане згори) використання природних та матеріальних ресурсів;
- фактичне обмеження прав населення організацій та громад щодо використання природних та матеріальних ресурсів.

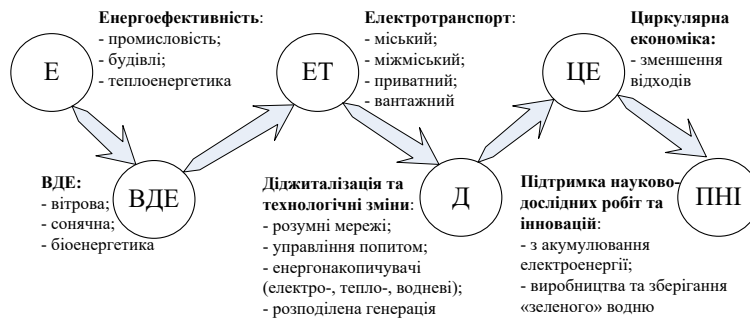


Рис. 1. Основні напрями «Зеленого» енергетичного підходу

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Метою дослідження є обґрунтування доцільності запровадження екологічної самодостатності ЗВО на основі статистичних даних та комплексного аналізу існуючих підходів при реалізації таких проектів, а також економічне обґрунтування реалістичності впровадження такого підходу для конкретного ЗВО. При проведенні даного дослідження були використані загальнонаукові методи, зокрема, описовий та моделюючий. Аналітичний метод використовувався для аналізу даних та прогнозування майбутніх результатів. Також були використані методи спостереження, порівняння, класифікації, узагальнення та інтерпретації. Реалізовано метод розрахунку економічної доцільності отримання аналітичних даних для даного дослідження. На основі обраних теоретичних та практичних методів та підходів було сформульовано три гіпотези, які підлягали вивченню в ході даного дослідження.

Гіпотеза 1. Ефективний розвиток повноцінного локального господарювання в рамках невеликих спільнот (якими є заклади вищої освіти) та (або) малого бізнесу, забезпечує різноманітність, самоокупність та самодостатність будь-якої спільноти, включаючи ЗВО.

Ця гіпотеза буде перевірена шляхом порівняльного аналізу наявних даних на основі статистичного підходу.

Гіпотеза 2. Економічний підхід до концепції сталого розвитку має на меті оптимальне використання обмежених ресурсів та (або) використання екологічно-, природно-, енерго- та матеріально-зберігаючих технологій, враховуючи видобування та перероблення сировини, створення екологічної продукції, мінімізацію, перероблення та утилізацію відходів.

Ця гіпотеза буде перевірена шляхом аналітичних міркувань на основі отриманих даних про потенційні можливості досліджуваного об'єкту.

Гіпотеза 3. З екологічної точки зору, сталий розвиток повинен забезпечувати цілісність будь-якої системи. Особливе значення має життєздатність екосистеми (якою є ЗВО). Основна увага приділяється здатності такої системи до запровадження самодостатності та адаптації при динамічній зміні зовнішніх факторів (а не прагнення до статичного стану). Зменшення природних ресурсів, забруднення навколишнього середовища та збільшення витрат на утилізацію відходів суттєво зменшують екологічну самодостатність будь-якої організації та знижують її потенційні можливості.

Ця гіпотеза також буде перевірена шляхом аналітичних міркувань на основі отриманих даних про потенційні можливості досліджуваного об'єкту.

Формулювання цілей статті

Формулювання цих трьох гіпотез обумовлене тим, що вони дають можливість дослідити базовий (основоположний) зв'язок між такими різнорідними поняттями як:

- заклад вищої освіти;
- самодостатність;
- екологія;
- економіка.

Також велика увага приділена аналітичним міркуванням на основі наявних статистичних даних, отриманих в ході досліджень та ілюстрацій, представлених у статті.

Практична складова даного дослідження полягає в формуванні адаптивних рекомендацій щодо еколого-економічного використання вторинних ресурсів на основі цілої низки чинників.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо основні аспекти сформульованих гіпотез, яким присвячена дана стаття.

По-перше, в даний час у великій кількості країн ще триває процес становлення циркулярної економіки як основного базису держави, ефективність функціонування якої забезпечується можливістю максимального повторного використання ресурсів з основою на відновлювану енергетику, узгодження побутових інтересів людей з державними на території більшості країн, і як наслідок, підтримується висока якість суспільного життя по всій вертикалі соціуму.

По-друге, ситуація, що склалася в еколого-економічній галузі, визначається протиріччям між об'єктивною необхідністю нарощування економічного потенціалу та задоволенням потреб населення.

По-третє, трансформація форм і методів управління в еколого-економічній галузі в умовах циркулярної економіки, тенденції суспільних змін зумовлюють потребу в уточненні принципів функціонування цих економічних механізмів [2, 6, 8].

Економічну основу самодостатності будь-якої організації становлять:

- природні ресурси;
- залучені кошти;
- сировина, придатна для вторинного використання (в той чи інший спосіб).

ЗВО володіють, користуються і розпоряджаються такими ресурсами. Тому, власне, рекомендується використовувати, так званий ресурсний підхід до системи внутрішнього управління ЗВО, який полягає в тому, щоб визначити доцільність його запровадження саме в закладах освіти в цілому і вищій, зокрема, відповідно до адміністративно-територіального утворення стосовно ресурсів, якими вони володіють, розпоряджаються чи управляють. І від цього слід відштовхуватися за повноваженнями, відповідальності та фінансової (бюджетної) самодостатності.

Основоположна мета цього підходу полягає в чіткому виявленні ресурсів, потрібних для функціонування екологічної самодостатності ЗВО, а також при прийнятті рішень щодо еколого-економічного використання вторинних ресурсів. Використання ресурсного підходу доцільне лише після отримання конкретної прогнозованої оцінки в рамках визначення обсягу вторинних ресурсів та доцільності їх використання.

Ризиком може бути необ'єктивний розрахунок потенційних можливостей без урахуванням об'єктивних і суб'єктивних факторів. В умовах ринку «логіка» державних структур на противагу комерційним організаціям є дещо інертною і повинна бути замінена новими гнучкими і життєздатними підходами, які оптимально з достатньою ефективністю поєднують переваги централізації і децентралізації, а також елементів професійного самоврядування [1, 2].

Світова практика в цьому питанні (згідно напрямку діяльності тої чи іншої організації) дозволяє професійно оцінювати стан та можливості вторинних ресурсних баз, а отже, і правильно визначити ефективність запровадження еколого-економічного використання вторинних ресурсів, окреслювати нові або вдосконалені напрямки їх розвитку, а також найбільш перспективні напрями інвестування цих ресурсів.

Перелік сервісів, які відповідають заявленим цілям, формуються, в першу чергу, за галузевими і регіональними ознаками, і, водночас, не виключають можливість створювати об'єднання чи асоціації з іншими регіонами. Система створення, об'єднання та координації діяльності, в цьому випадку, утворює систему екологічної самодостатності низки ЗВО.

Однак максимального ефекту даний механізм досягне лише за наявності такого компоненту, як державна підтримка як на законодавчому, так і фінансовому рівнях. Це дозволить ефективно управляти всіма адміністративно-територіальними одиницями ЗВО (адміністративні, навчальні та господарські частини, студентські кампуси тощо).

В частині забезпечення екологічної самодостатності ЗВО необхідно відзначити, що закріплення постійних джерел самофінансування є однією з обов'язкових умов оптимізації та децентралізації коштів. В цьому випадку процес планування, регулювання і контролю набуде найкращого розвитку та реалізації. У разі отримання від еколого-економічного використання вторинних ресурсів достатньої кількості власних коштів, адміністрація ЗВО зможе здійснювати контроль як за цільовим їх використанням, так і за якістю реалізованих проєктів та підходів. Як наслідок – можливе еколого-економічне зростання ЗВО.

Враховуючи попередні висновки, можна стверджувати, що збільшення розмірів самофінансування такої адміністративної одиниці як ЗВО матиме ряд переваг:

- по-перше, відносна простота отримання коштів, в силу прямо пропорційної залежності між об'ємами зданих матеріалів на вторинну переробку та отриманими за це коштами (у випадку ЗВО – це дозволяє збирати та тимчасово зберігати достатню кількість таких матеріалів на своїх територіях);
- по-друге, залучення працівників та студентів до процесу свідомого поводження з відходами дозволить контролювати об'єми відходів, спостерігаючи (що дозволить контролювати та спостерігати) за ефективністю результатів щодо поводження з відходами, та приймати оперативні ефективні рішення щодо спостережної ситуації;
- по-третє, зменшаться масштаби залежності (як бюрократичні, так і фінансові) від міста,

оскільки кількість відходів, які буде забирати місто, будуть не великі за обсягами, що сприятиме більш ефективному функціонуванню господарської частини ЗВО (оскільки буде відсутній «ефект господарської піраміди»);

- по-четверте, такий підхід відкриє шлях різноманіттю та дозволить розвивати нові технічні, технологічні, креативні напрями досліджень в цій галузі (що є важливим для ЗВО, в цілому, і технічних, зокрема). Крім того, такий підхід дозволить краще адаптувати структуру господарських служб до специфіки потреб і запитів ЗВО, його працівників та студентів).

В аналітичних документа [2], створених на основі консультацій з експертами з 12 країн, та присвячених реформам поводження з відходами, а також підготовленими на їх основі рекомендаційними матеріалами, наведений великий перелік можливих джерел екологічної самодостатності. У цьому документі подано:

- податки, які стягуються за переробку відходів;
- ліцензії на надання таких послуг;
- штрафи за нефахову утилізацію;
- мита (якщо утилізація відбувається в інших країнах);
- можливі границі прибутку від такої діяльності;
- граничні межі фінансової допомоги від місцевих органів влади.

В документі підкреслюється, що такий еколого-економічний підхід забезпечує двояку роль в господарській діяльності: з одного боку – це надання ресурсів (сировини) для тих підприємств, які займаються такою діяльністю, а з іншої – ЗВО виступають «як агенти економічного розвитку» регіону, в якому вони розташовані, і країни, загалом, залишаючись в той же час «партнерами центрального підпорядкування». Проте всі дії, направлені на екологічну самодостатність, повинні мати чітко виражену мету – постійний контроль та чітке регулювання кількості наявних відходів на відповідній території (а не ведення підприємницької діяльності як такої). На сьогодні, вага постійних джерел такого екологічного самофінансування становить [2, 3, 4, 5, 6]:

- Швеції – приблизно 60 %;
- Великобританії – 40 %;
- Франції, Німеччині – 25 %.
- решті країн – не перевищує 5 %.

Очевидно, що принцип екологічної самодостатності ЗВО не реалізується в повній мірі з таких причин:

- по-перше, неузгодженість механізмів реалізації таких проектів на законодавчому рівні та зміна векторів пріоритетів з року в рік (це не дає чіткого уявлення щодо поводження з відходами, а, отже, є нестабільним юридичним, і як наслідок – фінансовим, чинником);
- по-друге, навіть в рамках одного року спостерігається коливання попиту на ту чи іншу сировину, а оскільки надходження від ЗВО за обсягами є незначні, то ними можуть нехтувати (внаслідок чого такі джерела не можуть розглядатись як постійні) – іншими словами, система екологічного самофінансування на сьогодні день в Україні не стабільна;
- в той же час податкова база місцевого рівня спирається, перш за все на споживчі можливості населення даного регіону, оскільки найбільш значущою фінансовою основою місцевого рівня є податки на майно суб'єктів господарювання, непрямі податки на споживання громадян.

Проте, ґрунтуючись на досвіді закордонних ЗВО, в яких з року в рік дохід (прибуток) від такої форми еколого-економічної діяльності зростає, є можливість визначити постійні потенційні джерела екологічної самодостатності. З огляду на нерівномірність попиту на них, необхідно орієнтуватися, в середньому, на 50-відсоткову екологічну самодостатність. Однак ключовим моментом в цьому питанні є визначення постійних (базового та комунального) і опорного (тобто на постійній основі) джерел первинної екологічної самодостатності, оскільки потрібно бути орієнтованими насамперед на конкретні ЗВО на даній території та їх можливості при реалізації такого проекту, а також всіх зацікавлених осіб, які можуть отримати від цього вигоду та (або) позитивний ефект, покращити умови їх життя та праці.

Результати досліджень

При вирішенні задачі еколого-економічного використання вторинних ресурсів у відповідності зі світовою практикою, потрібно виходити з того, що постійний розвиток ЗВО зумовлює постійне зростання відпрацьованих ресурсів, які потрібно утилізувати чи переробляти, витрачаючи на це додаткові кошти. Це призводить до зниження фінансової спроможності та підприємницької активності організації.

В табл. 1 представлено показники щодо поточного стану відходів у «Львівській політехніці».

Таблиця 1

Поточний стан кількості відходів у «Львівській політехніці»

Рік	2016	2017	2018	2019	2020
Відходи, т	2536,94	2574,68	2586,54	2602,11	2619,15

Як бачимо, ця цифра зростає з року в рік, та призводить до певних проблем, зумовлених цим зростанням:

- проблеми з відвантаженням цих відходів і їх подальша утилізація;
- зростання фінансових видатків на їх утилізацію;
- засмічення міських територій та створення дискомфорту у зв'язку з цим для місцевих мешканців.

Дослідження, проведені на підставі даних Національного статистичного комітету [12], показали, що у варіанті, який пропонується, самофінансування на основі еколого-економічного використання вторинних ресурсів для ЗВО може складати приблизно 13 % доходу (зокрема: базового – 6 %, комунального – 7 %,) (в Німеччині цей показник сягає 20 %). Потенційні джерела екологічної самодостатності приведені в табл. 2, яка дає уявлення про можливі базові варіанти цих джерел самофінансування (екологічної самодостатності) ЗВО. Зокрема, табл. 2 демонструє потенціал еколого-економічного використання вторинних ресурсів за ресурсним принципом та можливий дохід від його використання з подальшим перерозподілом коштів на внутрішні потреби ЗВО.

В умовах трансформації економіки України, паралельно з удосконаленням системи дотації державного фінансування ЗВО, перехід на самокупність та незалежний розвиток ЗВО в загальному, їх роль у формуванні консолідованого бюджету буде зростати, як і ступінь фінансової самодостатності ЗВО. Невід'ємною вимогою забезпечення механізму самофінансування (в тому числі і завдяки екологічній самодостатності) є регламентоване закріплення потенційних джерел екологічної самодостатності як окремі статті доходу (прибутку) відповідними пунктами у законодавчих актах на постійній основі.

На наш погляд, це доцільно зробити в Законі України «Про відходи», таким чином, заклавши фінансовий фундамент у систему екологічної самодостатності ЗВО. Оскільки, ЗВО не володіють достатнім методологічним досвідом в розробленні цих механізмів, необхідні більш детальні напрацювання і в інших законодавчих актах (наприклад, в Податковому кодексі). Мова йде про зменшення фінансових витрат на переробку відходів за умови екологічної самодостатності ЗВО.

Таблиця 2

**Потенційні джерела екологічної самодостатності
(на прикладі Національного університету «Львівської політехніки»)**

Тверді побутові відходи				
№ пп	Назва потенційного джерела екологічної самодостатності	Частота забору	Вартість за 1 кг, грн.	Отримані від забору за рік заощадження, грн.
1	Папір	1 раз / міс.	3,5	13 133,00
2	Органічні відходи	1 раз / тиж.	-	0
3	Пластик	1 раз / тиж.	-	0
4	Метал чорний	1 раз / міс.	6-6,5	239 833,60
5	Метал кольоровий		34-200	3 200,00
6	Одяг	1 раз / кв.	-	0
Альтернативні джерела енергії				
№ пп	Назва потенційного джерела екологічної самодостатності	Величина видобутку (кВт/добу)	Ціна за 1 кВт, грн.	Отримані заощадження від використання, грн.
1	Сонячні електричні панелі	556,8	3,57	1987,78
2	Теплові насоси	744	3,57	2656,08
3	Сонячні геліоколектори	140	3,57	499,80
4	Вітрові генератори	0	0	0
Інші дії, покликані підвищити екологічну самодостатність закладу вищої освіти				
1	Встановлення еколого-економічних об'єктів (наприклад, лампи освітлення з детектором руху) в організації		0	0
2	Повторне (нове) використання на основі переробки матеріальних об'єктів в організації		0	0



Рис. 2. Фінансовий механізм екологічної самодостатності ЗВО

Від ступеня екологічної самодостатності ЗВО та рішень, що приймаються на його основі, його бюджету та фінансових можливостей, рівня сталого розвитку регіону, в якому знаходиться ЗВО, виду місцевих податкових зборів, прав і обов'язків місцевих органів державного управління і самоврядування залежать успішність запровадження еколого-економічного використання вторинних ресурсів, а відповідно – і екологічної самодостатності ЗВО. Іншими словами, включається фінансовий механізм саморозвитку ЗВО як адміністративно-територіального утворення (рис. 2).

У випадку занадто централізованої системи управління, переважання коштів державного бюджету (трансфертів, субсидій, дотацій тощо) політика адміністрації ЗВО будується на простому «використанні» коштів з держбюджету, і є витратною по своїй суті. Натомість, відповідальність ЗВО за «самодостатність» бюджету (збалансованості функцій і фінансових джерел) спонукає задуматися над поповненням власного бюджету, сприяє розвитку наукових і технологічних підходів, знижує власні витрати.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Дослідження проблеми еколого-економічного використання вторинних ресурсів та ефективного управління ними свідчить про те, що необхідно переосмислити ряд традиційних поглядів на механізми використання цих ресурсів у контексті екологічної самодостатності закладів вищої освіти, оскільки, як ми побачили у цьому дослідженні, є фінансово-економічним підґрунтям розвитку ЗВО, в цілому, й «Львівської політехніки» зокрема.

Реалізація принципу екологічної самодостатності ЗВО на основі вторинного використання ресурсів дозволить заощадити певну кількість коштів та ефективно перерозподілити їх всередині закладу відповідно до інших статей витрат. Також цей підхід дозволить зменшити видатки на вивезення відходів та дозволить впровадити часткове самофінансування адміністративних одиниць ЗВО. Це спростить процеси їх закупівлі та знизить витрати на низку розхідних матеріалів, а також дозволить якісно та ефективно контролювати цей процес. Тому пропонується активне запровадження на практиці використання ресурсного підходу в системі ЗВО.

Для цього потрібно виробити працездатний та ефективний підхід для управління всіма процесами, пов'язаним з еколого-економічним використанням вторинних ресурсів, а також сформувати алгоритм («логіку») управління всіма структурами (внутрішніми (самого ЗВО) та зовнішніми (державними)) задля безперервної роботи всіх ланок, залучених у цьому процесі. І найголовніше – запустити механізм фінансового саморозвитку ЗВО, оскільки, в підсумку, багатство держави визначається багатством її громадян, територій та організацій, а також рівнем децентралізації коштів.

Функція соціально-економічної ефективності полягає у вирішенні наступних задач:

1) підвищення соціальної та економічної обґрунтованості підвищення ефективності експлуатації (споживання) всіх компонентів екосистеми;

2) оптимізація структури організації з точки зору її спроможності до екологічної самодостатності.

Екологічна функція – проявляється у вирішенні соціально актуальних задач організації, в цілому, і ЗВО, зокрема, від матеріально-технічної бази до благополуччя її працівників (персоналу).

Економічна функція – вимоги, які передбачають отримання максимальної ефективності від вкладених чи отриманих коштів, враховуючи не одноразові чи експлуатаційні видатки, а і можливість повторного використання чи залучення вивільнених коштів для подальших капіталовкладень.

В цілому, екологізація ЗВО включає в себе заходи як загального, соціального, так і конкретного професійного підходів. В результаті такого підходу можна досягти гармонійного поєднання природного, виробничого та соціального простору на теренах ЗВО, використовуючи компенсаційний підхід, створення стійкої самоорганізуючої спільноти, вивчення досвіду світових інституцій, розвиток ефективного економічного підходу для реалізації цих задач.

Тому важливим стає усвідомлення суспільством, у цілому, громадянами, зокрема, а також адміністраціями організацій всіх форм власності (включно ЗВО) необхідності постійного оновлення підходів, цілеспрямованих кроків та динамічних змін у сфері еколого-економічного використання вторинних ресурсів, і, як наслідок, змін у житті суспільства, та підвищення індикаторів якості та збалансованості рівня життя кожного з нас.

Література

1. Yemelyanov, O.; Symak, A.; Petrushka, T.; Vovk, O.; Ivanytska, O.; Symak, D.; Havryliak, A.; Danylovych, T.; Lesyk, L. Criteria, Indicators, and Factors of the Sustainable Energy-Saving Economic Development: The Case of Natural Gas Consumption. *Energies* 2021, 14, 5999. <https://doi.org/10.3390/en14185999>
2. Переход к устойчивому развитию: глобальный, региональный и локальный уровни. Зарубежный опыт и проблемы. – М.: КМК, 2002. – 444 с.
3. Веттерберг Г. Новое общество. О возможностях общественного сектора / Г. Веттерберг. – М.: AdMarginem, 1999.–308с.
4. Баранова К.К. Бюджетный федерализм и местное самоуправление в Германии / К.К. Баранова. – М.: Дело и сервис, 2000.–240 с.

5. Виталь Дюран Э. Местные органы власти во Франции / Э. Виталь Дюран. – М.: Издание посольства Франции. 2006. – 153 с.2.
6. Електронний ресурс. [Назва з екрану]. Режим доступу: <https://agropolit.com/spetsproekty/825-zelena-ugoda-yevropi-abo-osnovi-green-deal-scho-prinese-agrosektoru-ukrayini-kurs-na-ekologichnist>
7. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2009. – Минск: Нац. стат. Комитет Респ. Беларусь, 2009. – 600 с.
8. Тележников В.И. Государственное регулирование развития субъектов хозяйствования / В.И.Тележников. – Минск: К.Ц. «РАЙ», 2000. – 304 с.
9. Електронний ресурс. [Назва з екрану]. Режим доступу: <https://terme.ru/termin/ekologicheskaja-kultura.html>
10. Tamma, Paola; Schaart, Eline; Gurzu, Anca (2019-12-11). "Europe's Green Deal plan unveiled". POLITICO. Retrieved 2019-12-29.
11. Електронний ресурс. [Назва з екрану]. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/timeline/Novini.html>
12. Електронний ресурс. [Назва з екрану]. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

References

1. Yemelyanov, O.; Symak, A.; Petrushka, T.; Vovk, O.; Ivanytska, O.; Symak, D.; Havryliak, A.; Danylovych, T.; Lesyk, L. Criteria, Indicators, and Factors of the Sustainable Energy-Saving Economic Development: The Case of Natural Gas Consumption. *Energies* 2021, 14, 5999. <https://doi.org/10.3390/en14185999>.
2. Perekhod k ustojchivomu razvitiyu: globalnyj, regionalnyj i lokalnyj urovni. Zarubezhnyj opyt i problemy. – М.: КМК, 2002. – 444 с.
3. Vetterberg G. Novoe obshestvo. O vozmozhnostyah obshestvennogo sektora / G. Vetterberg. – М.: AdMarginem, 1999.–308s.
4. Baranova K.K. Byudzhetnyj federalizm i mestnoe samoupravlenie v Germanii / K.K. Baranova. – М.: Delo i servis, 2000.–240 s.
5. Vital Dyuran E. Mestnye organy vlasti vo Francii / E. Vital Dyuran. – М.: Izdanie posolstva Francii. 2006. – 153 s.2.
6. Elektronnij resurs. [Nazva z ekranu]. Rezhim dostupu: <https://agropolit.com/spetsproekty/825-zelena-ugoda-yevropi-abo-osnovi-green-deal-scho-prinese-agrosektoru-ukrayini-kurs-na-ekologichnist>
7. Statisticheskij ezhegodnik Respubliki Belarus 2009. – Minsk: Nac. stat. Komitet Resp. Belarus, 2009. – 600 s.
8. Telezhnikov V.I. Gosudarstvennoe regulirovanie razvitiya subektov hozyajstvovaniya / V.I.Telezhnikov. – Minsk: K.C. «RAJ», 2000. – 304 s.
9. Elektronnij resurs. [Nazva z ekranu]. Rezhim dostupu: <https://terme.ru/termin/ekologicheskaja-kultura.html>
10. Tamma, Paola; Schaart, Eline; Gurzu, Anca (2019-12-11). "Europe's Green Deal plan unveiled". POLITICO. Retrieved 2019-12-29.
11. Elektronnij resurs. [Nazva z ekranu]. Rezhim dostupu: <https://mepr.gov.ua/timeline/Novini.html>
12. Elektronnij resurs. [Nazva z ekranu]. Rezhim dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

Рецензія/Peer review : 20.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

МЕЛЬНИК Л. І.

ORCID ID: 0000-0001-5139-3105

e-mail: luba_xtkm@ukr.net

СВІДЕРСЬКИЙ В. А.

ORCID ID: 0000-0002-2246-3896

e-mail: xtkm@kpi.ua

ЧЕРНЯК Л. П.

ORCID ID: 0000-0001-8479-0545

e-mail: lpchernyak@ukr.net

НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ ВУЛКАНІЧНИХ ПОРІД ЯК МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Наведено результати дослідження різновидів вулканічних порід як матеріалів-наповнювачів полімерних композитів. Визначено відмінності хімікої-мінералогічного складу, структурних характеристик та ліофільності поверхні перліту, цеоліту і андезиту як критеріїв ефективності їх використання при взаємодії з полімерними зв'язувачами при виготовленні композиційних матеріалів.

Ключові слова: композит, наповнювач, склад, властивості поверхні, ліофільність.

LIUBOV MELNYK, VALENTYN SVIDERSKYI, LEV CHERNYAK
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

FEATURES OF VOLCANIC ROCKS AS MATERIALS FOR POLYMERIC COPOSITES

Fillers or reinforcing components are an integral part of composite materials. A classification of composites according to structural features and fineness has been adopted. Ideas about the effect of fillers on the physical, mechanical and operational characteristics of composite materials and products have been defined and are constantly being deepened.

In this regard, the use of volcanic rocks as fillers is noteworthy. The prospects for the use of certain types of volcanic rocks as disperse fillers of polymer composites are justified by their significant distribution and accumulation of fine fractions of screenings as waste during their extraction and processing. At the same time, the achievement of the effectiveness of such raw materials requires a deepening of ideas about the composition and physico-chemical properties, in the direction of which this work has been done.

Physical and chemical studies in terms of evaluating the suitability of volcanic rocks (perlite, zeolite, andesite) as ingredients of polymer composite materials made it possible to obtain quantitative data on their chemical and mineralogical composition, hydrophilic-lyophilic balance and energy state of their surface.

The interpretation of the obtained results concerning the potential interaction of the studied materials with polymeric binders is given taking into account the above features of their composition, structure and quantitative IR spectroscopy data in terms of structure-forming bonds Si-O-Si, S-O-Al, hydroxyl groups and adsorbed water.

These features indicate the possibility of choosing volcanic rocks as fillers for polymer composites with the required lyophilic-lyophobic balance and energy state of their surface and providing an unlimited level of interaction with polymer binders as a factor in shaping the structure and properties of composites.

Keywords: composite, filler, composition, surface properties, lyophilicity.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Наповнювачі або армуючі компоненти є невід'ємною складовою композиційних матеріалів [1-3]. Прийнята класифікація композитів за структурними ознаками та дисперсністю наповнювачів, відповідно до них визначені та постійно поглиблюються уявлення про вплив різновидів наповнювачів на фізико-механічні та експлуатаційні характеристики композиційних матеріалів і виробів [4-6].

Для виготовлення полімерних композитів застосовуються дисперсні органічні та неорганічні наповнювачі [7, 8], коло яких постійно розширюється.

В цьому зв'язку привертає увагу використання вулканічних порід як наповнювачів, ефективність чого доведена в ряді промислових технологій. Так, у виробництві бетонів як будівельних композитів застосовуються подрібнені граніти в вигляді щебеню та гравію [9,10], у виробництві теплоізоляційних матеріалів – базальтове волокно [11, 12]. Перспективність застосування певних різновидів вулканічних порід як дисперсних наповнювачів полімерних композитів обґрунтовується їх значним розповсюдженням і накопиченням тонких фракцій відсівів як відходів при їх видобутку і переробці. Разом з цим, досягнення ефективності застосування такої сировини потребує поглиблення уявлень про склад і фізико-хімічні властивості, в напрямку чого виконана подана робота.

Виклад основного матеріалу

Об'єктами дослідження стали відсівні видобутку та переробки вулканічних порід Закарпатської області України: перліт Беренівського родовища, цеоліт Сокириницького родовища, андезит Хустського родовища.

В роботі застосовували комплекс сучасних фізико-хімічних методів аналізу:

- визначення хімічного складу матеріалів;
- рентгенофазовий аналіз вихідних матеріалів за допомогою дифрактометра ДРОН-4-07;

- інфрачервона спектроскопія матеріалів за допомогою Srescord-75;
- визначення ліофільності та питомої поверхні частинок матеріалів за кутом змочування при натіканні полярною та неполярною рідинами.

Досліджувані вулканічні породи значно відрізняються за хіміко-мінералогічним складом. Так, хімічний склад проб за кількісним вмістом оксидів характеризується наявністю наступних рядів (табл. 1):

- по SiO₂ – перліт > цеоліт > андезит;
- по Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO - перліт < цеоліт < андезит;
- по Na₂O + K₂O – перліт > андезит > цеоліт.

Таблиця 1

Хімічний склад порід

Код проби	Вміст оксидів, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п.
перліт	72,08	12,92	1,50	0,90	0,88	0,63	3,76	4,33	3,00
цеоліт	68,02	13,04	1,92	0,30	2,71	1,63	1,57	2,64	16,94
андезит	59,70	16,97	8,42	0,72	5,76	1,21	2,68	1,82	1,11

За мінералогічним складом (рис. 1-3) перліт відзначається переважним розвитком склофази із включеннями кристалічних фаз кварцу та польових шпатів.

При меншій, ніж у перліту, кількості склофази цеоліт характеризується розвитком кристалічних фаз клиноптилоліту, кварцу та польових шпатів.

Андезит відрізняється переважним розвитком кристалічних фаз андезину, авгіту, біотиту, рогової обманки та магнетиту.

Властивості поверхні вулканічних порід

Детальний кількісний ІЧ-спектральний аналіз досліджуваних природних матеріалів показав присутність в їх складі більш простих сполук, функціональних груп та хімічних зв'язків (рис. 4).

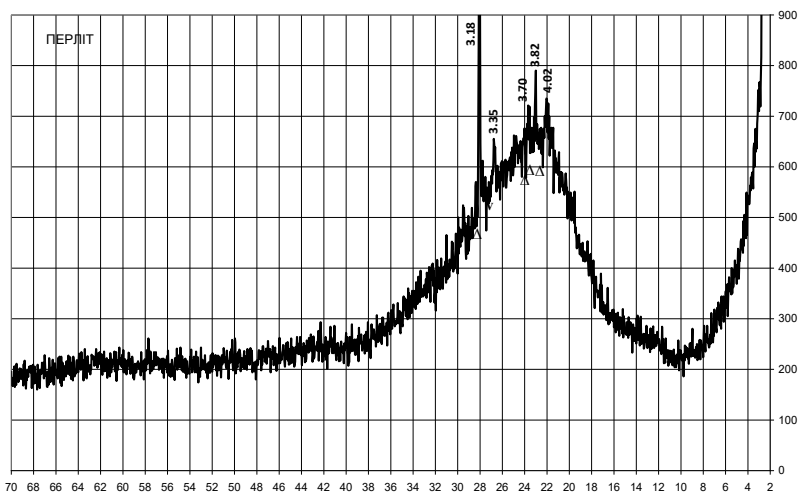


Рис. 1. Дифрактограма перліту: v-кварц, Δ-польовий шпат

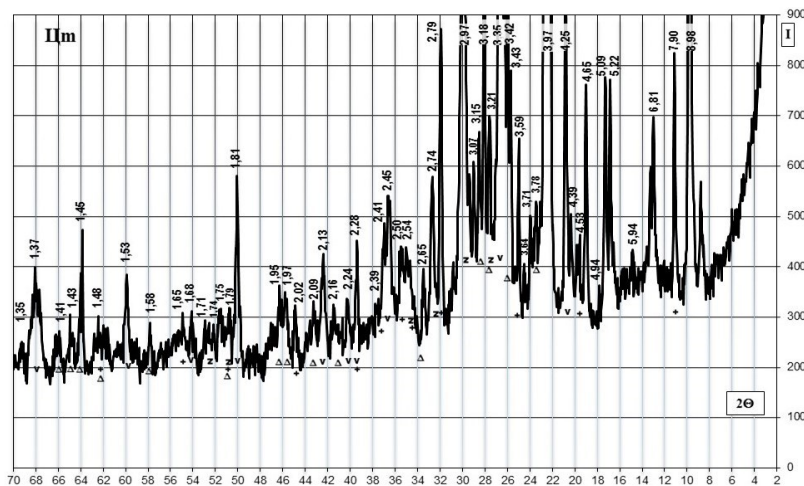


Рис. 2. Дифрактограма цеоліту: z - клиноптилоліт, v - кварц, + - каолінит, Δ - польовий шпат

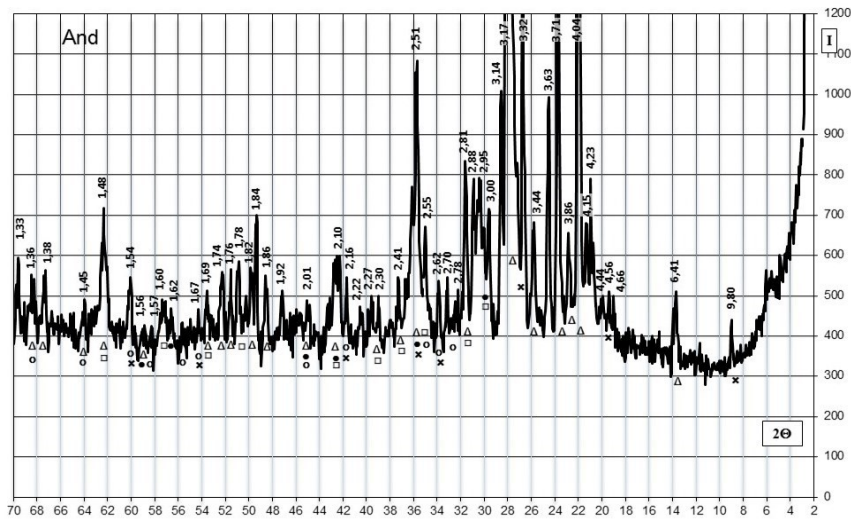


Рис. 3. Дифрактограма андезиту: Δ - олигоклаз-андезин, ● - аегіт, □ - магнетит, ○ - рогова обманка, x – біотит

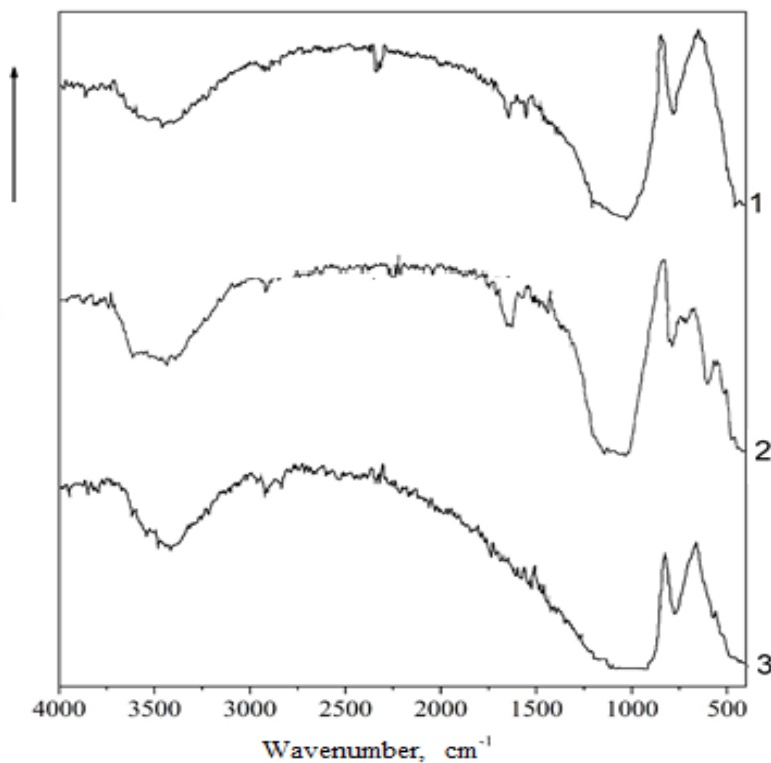


Рис. 4. ІЧ-спектри природних матеріалів: 1 – перліт; 2 – цеоліт; 3 – андезит

Серед останніх в першу чергу слід відмітити коливання структуроутворюючих місткових і немісткових зв'язків Si–O–Si (валентний інтервал 640-690 cm^{-1} , за виключенням цеоліту та 1000-1126 cm^{-1}), Si–O–Al (710-780 cm^{-1}). Присутні також характеристичні смуги поглинання, відповідальні за деформаційні коливання зв'язків Si–O⁻ (440-436 cm^{-1}) та Si–O–Al (507-593 cm^{-1}). При цьому слід відмітити наявність більш широкого спектру поглинання для останніх у випадку цеоліту.

Заслуговує також уваги присутність для цеоліту смуг поглинання в діапазоні 1426-1453 cm^{-1} , які можуть бути зв'язані з присутністю в матеріалах сполук кальцію. Враховуючи відмічені особливості хімічного й мінералогічного складу досліджуваних матеріалів та ступінь достовірності фізико-хімічного аналізу для оцінки енергетичного стану та реакційної здатності було використано метод

кількісної ІЧ-спектроскопії в частині валентних коливань зв'язків Si–O–Si та Si–O–Al, які зафіксовано для всіх досліджуваних матеріалів.

Порівняння здійснювались з використанням наступних параметрів характеристичних смуг поглинання валентних коливань відмічених зв'язків в складі ІЧ-спектрів:

- положення максимальної смуги поглинання, cm^{-1} ;
- відношення їх інтенсивностей до фонові (J_0/J);
- напівширина смуги поглинання ($\Delta\nu_{1/2}$, cm^{-1}).

Використання вказаних показників дозволяє отримати об'єктивну і об'ємну інформацію відносно стану досліджуваних зв'язків в складі неорганічних матриць. Це стосується їх відносної міцності, що визначається ступенем зміщення максимуму смуги поглинання, кількості за даними відношення інтенсивностей J_0/J , та розподілу енергетичного спектра по величині напівширини цієї ж смуги.

Аналіз положення максимумів смуг поглинання, характеристичних для валентних коливань зв'язків Si–O–Si, на ІЧ-спектрах природних матеріалів показав наявність відносно вузького їх інтервалу (1000–1080 cm^{-1}) для перліту. У випадку андезиту він перебуває в межах 913–1100 cm^{-1} , а цеоліту 1027–1126 cm^{-1} (табл. 2).

Наявність таких особливостей стосовно положення максимумів характеристичних смуг поглинання

дозволяє стверджувати, що частина найбільш міцних зв'язків Si–O–Si перебуває в складі андезиту (смуга при 913 см⁻¹). Дещо слабші зв'язки характерні перліту і частково цеоліту. В той же час слід відмітити, що найбільш міцні з них фіксуються для перліту (смуга при 1126 см⁻¹) та андезиту (1100 см⁻¹).

В кількісному відношенні стосовно вказаних зв'язків досліджувані матеріали розмітити по мірі зменшення: андезит > перліт > цеоліт. При цьому різниця між крайніми членами цього ряду може досягати до десяти разів, а між андезитом і перлітом до 2,5 разів.

Енергетичний спектр зв'язків Si–O–Si найбільш широкий для перліту ($\Delta\nu_{1/2} = 1064 \text{ см}^{-1}$). Його величина зменшується при переході до цеоліту в два рази.

Стосовно структуроутворюючих зв'язків Si–O–Al найбільша відмінність в частині розташування максимумів їх характеристичних смуг поглинання зафіксовано для андезиту (відповідно 773 см⁻¹) поступаються Si–O–Si. Максимум їх кількості відмічено у андезиту, потім йдуть перліт, цеоліт.

Енергетичний спектр цих зв'язків найбільш широкий для перліту (113 см⁻¹) і вузький для цеоліту ($\Delta\nu_{1/2}$ перебуває в межах від 46,7 (смуга при 710 см⁻¹) до 73,3 см⁻¹ (смуга при 773 см⁻¹).

Окрім згаданих вище структуроутворюючих зв'язків за участю оксидів кремнію та алюмінію в складі досліджуваних природних матеріалів методом ІЧ-спектроскопії встановлено присутність цілого ряду функціональних груп (ОН), сполук (H₂O) та зв'язків (C–H). Їх валентні коливання фіксуються відповідно в діапазонах 3620–3873, 3560–3440 та 2847–2980 см⁻¹.

Слід відмітити наявність смуг поглинання, що відповідають за диференційні коливання адсорбованої води при 1620–1640 см⁻¹ для перліту і цеоліту.

Відносно валентних коливань гідроксильних груп встановлено наявність високочастотних та низькочастотних смуг для цеоліту (3815 і 3620 см⁻¹) і андезиту (3867 і 3813 см⁻¹) (табл. 3).

Таблиця 2

Параметри характеристичних смуг поглинання валентних коливань зв'язків Si–O–Si (1913–1126 см⁻¹) та Si–O–Al (710–780 см⁻¹)

Положення максимуму смуги поглинання, см ⁻¹	Відношення J ₀ /J	$\Delta\nu_{1/2}$, см ⁻¹
<i>Перліт</i>		
1020	21,00	1064,0
773	0,73	113,0
<i>Цеоліт</i>		
1126	9,11	} 506,0
1027	10,12	
773	0,55	73,3
710	0,17	46,7
<i>Андезит</i>		
1100	51,00	–
913	53,00	–
773	1,24	–

Таблиця 3

Параметри характеристичних смуг поглинання валентних коливань ОН-груп (3620–3873 см⁻¹), адсорбованої (3560–3400 см⁻¹) та зв'язків С–Н (2847–2980 см⁻¹)

Положення максимуму смуги поглинання, см ⁻¹	Відношення J ₀ /J	$\Delta\nu_{1/2}$, см ⁻¹
<i>Перліт</i>		
3873	0,08	–
3466	0,50	–
2927	0,10	} 73,2
2853	0,06	
<i>Цеоліт</i>		
3815	0,07	–
3620	0,60	100,0
3440	0,76	380,0
2926	0,12	–
2853	0,07	–
<i>Андезит</i>		
3867	0,07	–
3817	0,07	–
3560	0,60	} 425,6
3500	0,58	
3433	0,60	
2980	0,06	
2933	0,16	–
2847	0,08	–

Їх кількість стосовно високочастотних видів для всіх дослідних природних матеріалів зафіксована на рівні 0,07–0,08.

Максимальна концентрація низькочастотних ОН-груп спостерігається для цеоліту ($J_0/J=0,60$ для смуги 3620 см^{-1}) при півширині останньої 100 см^{-1} .

Стосовно адсорбованої води самий широкий діапазон смуг її поглинання ($3433\text{-}3560 \text{ см}^{-1}$) відмічено для андезиту. Інші матеріали за положенням максимуму характеристичних смуг розміщуються наступним чином: перліт (3466 см^{-1}) < цеоліт (3440 см^{-1}).

Кількість адсорбованої води (за відношенням J_0/J смуг поглинання в діапазоні $3400\text{-}3560 \text{ см}^{-1}$) для досліджуваних матеріалів значно перевищує гідроксильні групи і перебуває в межах $0,50$ (перліт) – $0,76$ (цеоліт).

Валентні коливання зв'язків С–Н для природних матеріалів спостерігаються в інтервалі частот $2847\text{-}2980 \text{ см}^{-1}$ для андезиту та $2853\text{-}2927 \text{ см}^{-1}$ цеоліту, перліту.

В кількісному відношенні перевагу має андезит по смугі поглинання при 2933 см^{-1} ($0,16$) на фоні $0,07\text{-}0,12$ у цеоліту та $0,06\text{-}0,10$ для перліту. Тільки для останнього зафіксовано відносно вузький розподіл енергетичного спектру (до $73,2 \text{ см}^{-1}$). У інших досліджуваних інгредієнтів вказаний параметр не зафіксовано.

Наявність в природних матеріалах вулканічного походження відмічених особливостей хіміко-мінералогічного складу, структуроутворюючих зв'язків, присутності гідроксильних груп, адсорбованої води та груп С–Н в певній мірі на склад та енергетичний стан їх поверхні.

Встановлено, що серед досліджуваних проб найкращим змочуванням полярною і неполярною рідиною при коефіцієнті ліофільності $1,51$ відзначається природний цеоліт (табл. 4).

Таблиця 4

Енергетичний стан поверхні природних матеріалів

Матеріал	Змочуваність при натиканні		Коефіцієнт ліофільності	Умовний tg кута діелектричних втрат
	вода	ксилол		
Перліт	0,45	0,31	1,45	0,016
Цеоліт	0,71	0,47	1,51	0,025
Андезит	0,69	0,35	1,97	0,027

Проба андезиту при приблизно однаковій із цеолітом змочуваності полярною рідиною поступається по змочуваності неполярною рідиною і має більший коефіцієнт ліофільності $1,97$. Перліт поступається цеоліту і андезиту по змочуваності полярною і неполярною рідинами та по значенню коефіцієнту ліофільності.

Схожа картина спостерігається і при оцінці енергетичного стану поверхні досліджуваних матеріалів за показниками умовного tg кута діелектричних втрат. У цеоліту і андезиту тангенс кута в $1,6$ - $1,7$ рази відповідно вищий, ніж для перліту.

Аналогічним чином для досліджуваних матеріалів співвідноситься і ефективна питома поверхня, найбільшими значеннями якої по воді та по ксилолу відзначається природний цеоліт (табл. 5).

Таблиця 5

Ефективна питома поверхня

Матеріал	Ефективна питома поверхня, $\text{м}^2/\text{г}$	
	вода	ксилол
Перліт	4,5	2,9
Цеоліт	18,1	12,9
Андезит	10,1	5,0

За значеннями ефективної питомої поверхні по полярній і неполярній рідині утворюється загальний ряд: цеоліт > андезит > перліт. Проте при цьому показники по воді суттєво перевищують показники по ксилолу.

Таким чином, представлені дані переконливо свідчать, що досліджувані вулканічні породи характеризуються різним хіміко-мінералогічним складом, кількістю та енергією структуроутворюючих зв'язків Si–O–Si і Si–O–Al, вмістом гідроксильних груп, адсорбованої води, органічної складової.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведені фізико-хімічні дослідження в частині оцінки відповідності вулканічних порід (перліт, цеоліт, андезит) в якості інгредієнтів для отримання полімерних композитів дозволили отримати кількісні дані в частині визначення хімічного і мінералогічного їх складу, гідрофільно-ліофільного балансу та енергетичного стану їх поверхні, ступеня її розвитку.

Надано інтерпретацію отриманих результатів стосовно потенціальної взаємодії досліджуваних матеріалів з полімерними зв'язуючими із врахуванням перерахованих вище особливостей їх складу, структури та даних кількісної ІЧ-спектроскопії в частині структуроутворюючих зв'язків Si–O–Si, Si–O–Al, гідроксильних груп і адсорбованої води.

Відмічені особливості відзначають можливість вибору вулканічних порід як наповнювачів полімерних композитів з необхідним ліофільно-ліофобним балансом та енергетичним станом їх поверхні та забезпеченням необмеженого рівня взаємодії з полімерними зв'язуючими як фактору формування структури та властивостей композитів.

Література

1. Hong T. Hahn, Stephen W. Tsai. Introduction to Composite Materials. 1st Edition // Technomic Publishing Co, Inc., 1980. - 466i p.
2. Peters S.T. Handbook of Composites. Edition, 2nd. // Boston: Chapman&Hall, 1998. - 1120i p.
3. Kuen Y. Lin. Composite Materials: Materials, Manufacturing, Analysis, Design and Repair 2nd Edition // CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015 - 232 p.
4. M.D. Kiran, H.K. Govindaraju, T. Jayaraju, Nithin Kumar. Review-Effect of Fillers on Mechanical Properties of Polymer Matrix Composites // Materialstoday: proceedings, 2018. - Vol. 5. – Is. 10. - Part 3. - pp. 22421-22424.
5. Harjit Singh, Tejeet Singh. Effect of fillers of various sizes on mechanical characterization of natural fiber polymer hybrid composites: A review // Materialstoday: proceedings, 2019. – Part 7. - pp. 5345-5350.
6. Praveenkumara Jagadeesh, Yashas Gowda, Thyavihalli Girijappa, Madhu Puttegowda, Sanjay Mavinkere Rangappa, Suchart Siengchin. Effect of natural filler materials on fiber reinforced hybrid polymer composites: An Overview // Journal of Natural Fibers, 2020. <https://doi.org/10.1080/i15440478.2020.1854145>.
7. Кац Г.С., Милевский Д.В. Наполнители для полимерных композиционных материалов. Справочное пособие: пер. с англ. - М.: Химия, 1981. - 736 с.
8. Панова Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов. Учебное пособие. - Саратов, СГТУ, 2010. - 68 с.
9. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини, К.: ТОВ „Ексоб”, 2003. – 472 с.
10. Дворкин Л.И. Бетоноведение. Том 1. Цементный бетон // Инфра- Инженерия, 2021. - 692 с.
11. Основы производства Базальтовых волокон и изделий Д. Д. Джигирис, М. Ф. Махова. М.: Теплоэнергетик, 2002. - 416 с.
12. Джигирис Д. Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий: Монография. - М.: Теплоэнергетик, 2002. - 411 с.

References

1. Hong T. Hahn, Stephen W. Tsai. Introduction to Composite Materials. 1st Edition // Technomic Publishing Co, Inc., 1980. - 466 p.
2. Peters S.T. Handbook of Composites. Edition, 2nd. // Boston: Chapman&Hall, 1998. - 1120 p.
3. Kuen Y. Lin. Composite Materials: Materials, Manufacturing, Analysis, Design and Repair 2nd Edition // CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015 - 232 p.
4. M.D. Kiran, H.K. Govindaraju, T. Jayaraju, Nithin Kumar. Review-Effect of Fillers on Mechanical Properties of Polymer Matrix Composites // Materialstoday: proceedings, 2018. - Vol. 5. – Is. 10. - Part 3. - pp. 22421-22424.
5. Harjit Singh, Tejeet Singh. Effect of fillers of various sizes on mechanical characterization of natural fiber polymer hybrid composites: A review // Materialstoday: proceedings, 2019. – Part 7. - pp. 5345-5350.
6. Praveenkumara Jagadeesh, Yashas Gowda, Thyavihalli Girijappa, Madhu Puttegowda, Sanjay Mavinkere Rangappa, Suchart Siengchin. Effect of natural filler materials on fiber reinforced hybrid polymer composites: An Overview // Journal of Natural Fibers, 2020. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1854145>.
7. Kac G.S., Milevski D.V. Napolniteli dlya polimernih kompozicionnyh materialov. Spravochnoe posobie: per. s angl. - M.: Himiya, 1981. - 736 s.
8. Panova L.G. Napolniteli dlya polimernih kompozicionnyh materialov. Uchebnoe posobie. - Saratov, SGTU, 2010. - 68 s.
9. Hots V.I. Betony i budivelni rozchyny, K.: TOV „Eksob”, 2003. – 472 s.
10. Дворкин Л.И. Бетоноведение. Том 1. Цементный бетон // Инфра- Инженерия, 2021. - 692 с.
11. Основы производства Базальтовых волокон и изделий Д. Д. Джигирис, М. Ф. Махова. М.: Теплоэнергетик, 2002. - 416 с.
12. Джигирис Д. Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий: Монография. - М.: Теплоэнергетик, 2002. - 411 с.

Рецензія/Peer review : 26.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

АДАМЧУК Л. О.

ORCID ID: 0000-0003-2015-7956

e-mail: leonora.adamchuk@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України
ННЦ «Інститут бджільництва ім. П.І. Прокоповича»

МЕЛІСОПАЛІНОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕДІВ ПІВДЕННОЇ БЕСАРАБІЇ

В роботі наведено результати мелісопалінологічних досліджень весняного меду отриманих в умовах Північної Бессарабії на території Центру етнографічного, зеленого, сільського туризму та сімейного відпочинку Фрумушика-Нова (Одеська область). Встановлено, що пилковий профіль досліджених медів представлений 30 морфотипами пилкових зерен різних видів рослин, містить падь природнього походження та природні домішки (частки рослин, воску, тіла бджіл). У пилковому профілі медів не було виявлено домінуючих (45% і більше) пилкових зерен, вторинних – 6, незначних – 21, включення – 3 морфотипи. У пилковому профілі весняних медів Південної Бессарабії виявлено пилкові зерна ендемічних видів рослин степу України (тамарикс галузистий, горошок паннонський, шипшина степова, біфора промениста, айлант, в'яз низький, мигдаль степовий, фіалка окультна). Отримані результати у подальшому можуть бути використані для ідентифікації у географічному зазначенні меду з цього регіону.

Ключові слова: мелісопалінологія, пилковий профіль, ідентифікація, мед, пилкове зерно.

LEONORA ADAMCHUK

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
National Science Center «PI Prokopovich Institute of Beekeeping»

MELISSOPALINOLOGICAL STUDY OF SOUTHERN BESSARABIA HONEY

Different natural and climatic zones, directions of agricultural production, ethnic and cultural features of agriculture, and reliefs of the regions of Ukraine are the result of a wide variety of vegetation. Ukraine occupies less than 6% of Europe's area but owns about 35% of all its biodiversity. This leads to a considerable list of plants that are sources of nectar for the production of honey of different varieties. Ukraine produces classic monofloral varieties of honey, such as white acacia, rapeseed, linden, buckwheat, sunflower, as well as less common monofloral, such as mustard, clover, raspberry, bird's-foot, phacelia, fireweed, goldenrod, sophora, honeydew. Today, regional polyfloral varieties of honey are also produced, such as Carpathian, steppe, Crimean, and other locally produced honey from reserves (for example, from Gomilshansky forests, Mezynsky reserve, Askanian meadows). A common way to identify the botanical and geographical origin of honey and identify its species is to study the pollen composition.

This work was aimed to determine the pollen profile of spring honeys of Southern Bessarabia using the method of melissopalynology. Bessarabia is an ethnographic region with its own culture of agricultural production and natural and climatic conditions. The material of the study was samples of honey obtained in the apiaries of the Center for Ethnographic, Green, Rural Tourism, and Family Recreation Frumushika-Nova (Odessa region) in 2021. The pollen profile of honey was investigated using the author's improved method of melissopalynological analysis. Identification of pollen grains was performed using the online database of pollen grains PalDat using a model nutrient medium. The pollen profile of spring honeys of Southern Bessarabia is represented by 30 morphotypes of pollen grains of different plant species, contains honeydew of natural origin and natural impurities (plant particles, wax, bee bodies). In the pollen profile of honey, no dominant (45% or more) pollen grains were detected, secondary – 6, insignificant – 21, inclusions – 3 morphotypes. This allows us to assert the polyflorality of the studied honey with the exception of white acacia, the dominant pollen of which may be 20% or more. Pollen grains of endemic species of steppe plants of Ukraine were found in the pollen profile of spring honeys of Southern Bessarabia (tamarix ramosissima, lathyrus pannonicus, rosa tesquicola, bifora radians, aianthus altissima, ultus pumila, prunus tenella, viola occulta). The obtained results can be further used to identify the geographical origin of honey from this region. At the next stages of the research, it will be promising to determine the pollen profiles of summer honeys of Southern Bessarabia and other ethnographic regions of Ukraine.

Keywords: melissopalynology, pollen profile, identification, honey, pollen grain.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Серед світових трендів харчової промисловості більших обертів набирає локальне, крафтове, органічне та ековиробництво. Глобальну проблему продовольчої небезпеки намагаються вирішити збереженням природного різноманіття продовольчої сировини та пошуком нових її ресурсів. Продукти бджільництва відносяться до самостійних оздоровчих продуктів та можуть слугувати продовольчою сировиною для створення функціонального харчування. Мед – продукт бджільництва, що виробляється у найбільших кількостях у порівнянні з іншими у цій галузі. Окрім того, Україна займає передові місця з виробництва та експорту цього продукту у світі останні 10 років. Поряд з цим, мед найбільше піддається фальсифікації серед інших продуктів бджільництва. Якщо показники безпечності та якості меду можливо визначити за допомогою лабораторних фізико-хімічних методів, то виявити сортову фальсифікацію або підміну географічного походження набагато складніше, та вимагає вивчення пилкового профілю для подальшої ідентифікації меду.

У наслідок значного біорізноманіття рослин у різних природо-кліматичних зонах та регіонах України, які слугують джерелами нектару для виробництва меду, у нашій державі багато рідкісних (монофлорних) та регіональних поліфлорних сортів меду для ідентифікації яких необхідно встановити пилковий профіль.

Аналіз досліджень та публікацій

Мелісопалінологічний аналіз використовують в Україні [1] та світі [2, 3] для визначення біологічного

та географічного походження меду. Він заснований на морфологічній оцінці та ідентифікації пилкових зерен [4], їх відсоткового вмісту у суспензії з меду, що слугує підґрунтям для створення пилкового профілю меду. Морфологічна будова зерен (розмір, форма, структура оболонки) відрізняється для кожного виду й навіть гібриду рослин. Це дозволяє зрозуміти нектар яких рослин потрапив у мед. Домінуючим вважають пилкок, що міститься у суспензії отриманій в меду у кількості понад 45%, він визначає монофлорність меду (ботанічне походження з однієї рослини). Вторинним називають пилкок, що міститься у кількості від 16 і до 45%, незначним – від 1% до 16%, і включення пилку – всі пилкові зерна, кількість яких менше за 1%.

Мелісопалінологію в інтерпретації пилкового аналізу, також використовують для вивчення різноманіття флори для різних цілей, в тому числі, як ресурсів корму для бджіл та джерел для медозбору [5, 6]. Наприклад, завдяки пилковому аналізу корму зібраного із гнізд еусоціальної безжалюї бджола *Etragonisca angustula*, яка зустрічається в Мексиці, Центральній та Південній Америці, вдалося зрозуміти джерела її живлення для попередження вимирання цієї комахи, як стратегічного запилювача згаданих країн.

Також за пилковим аналізом виявляють походження сировини з якої вироблений мед – нектар чи падь (медяна роса) [7]. Автентифікація меду за пилковим спектром (профілем) дозволяє виявити й падеві елементи, серед яких можуть бути спори грибів (*Alternaria*, *Helminthosporium*, *Uncinula* та інші), дріжджі (*Metschnikowia reukaftii* та інші), зелені водорості. У зв'язку з тим, що із пилком відфільтровуються й інші частки, мелісопалінологічний аналіз дозволяє оцінити забруднення мед механічними домішками.

Від ботанічного походження меду залежить його склад та фізико-хімічні властивості [8, 9, 10]. Установлено, що падевий мед містить поліфлорний спектр пилку, діастазне число в межах від 10,4 до 64,0 од. Готе, високий вміст проліну (до 595,0 мг/кг), електропровідність від 0,450 до 1,102 мСм/см. Вміст білків у квіткових медах нижчий порівняно до падевих і коливається в межах від 0,08 до 0,4 %. Виключенням є темні сорти меду, наприклад гречаний і вересовий – до 1 %. Падевий мед містить від 1,0 до 1,9% білків. 10–15% азотистих речовин складають замінні й незамінні амінокислоти. Відомо, що рівень треоніну для світлих сортів меду знаходиться у межах від 54,8 і до 68,7 % у складі азотистих сполук, для гречаного та фацилієвого – 33,4 та 40,7 %, відповідно.

Хамід та Данчук [9] вказують на відмінність діастазного числа монофлорного соняшникового меду з різних областей України. Так, діастазне число соняшникового меду з Миколаївської області становило 29,8 од. Готе, Одеської – 25,0, Вінницької – 46,4 од. Готе. Ймовірно, зміну властивостей меду зумовлює вміст вторинного пилку. Це доводить необхідність подальшого вивчення пилкового складу медів, як у розрізі ботанічного так і географічного походження.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: визначення пилкового профілю весняних медів Південної Бессарабії із використанням методу мелісопалінології.

Виклад основного матеріалу

Матеріалом слугували зразки меду, отримані в умовах пасік Північної Бессарабії на території Центру етнографічного, зеленого, сільського туризму та сімейного відпочинку Фрумушика-Нова (Одеська область) у 2021 році. Передані зразки меду було ідентифіковано виробником як: травневий-Василівка (зразок № 1), травневий-Семисотка (зразок № 2), білоакацієвий-Фрумушика (зразок № 3). Пилковий профіль меду досліджували використовуючи авторську удосконалену методику мелісопалінологічного аналізу [11] з використанням цифрового мікроскопу Sigeta Biogenic LED Trino Infinity (Китай), камеру Sigeta M3CMOS 16000 (Китай) та відповідне програмне забезпечення TouPView. Ідентифікацію пилкових зерен проводили використовуючи онлайн дата-базу пилкових зерен PalDat [12] з використанням модельного харчового середовища (Пат. № 144626) [13].

За результатами мелісопалінологічного дослідження зразку меду №1 виявлено вміст пилкових зерен (1246 шт.) та падевих елементів (80 шт.), що відповідає вимогам ДСТУ 4497–2005 [14] до натурального продукту. Загальна кількість досліджуваних елементів 1326 шт. у зразку.

Для визначення нектарного (квіткового) чи падевого походження меду користувалися методикою визначення співвідношень між елементами меду згідно ГОСТ 32168-2013 [15]. Встановили коефіцієнт співвідношення структурних елементів для зразка №1 – 0,06, що відповідає критеріям квіткового меду. У пилковому профілі зразку №1 домінуючі (понад 45%) пилкові зерна були відсутні. На підставі гармонізованих методів мелісопалінології, це дозволяє стверджувати ботанічний сорт меду зразка №1 – квітковий поліфлорний (весняне і ранньолітнє різнотрав'я) (рис.).

У пилковому профілі меду зразка №1 виявлено три ендемічні види рослин (біфора промениста, фіалка окультна, в'яз низький), що можуть у майбутньому слугувати підставою для встановлення географічного зазначення цього продукту. Серед падевих елементів було виявлено 6,03% домішок природного рослинного походження (мікроскопічні частинки пилків тичинок). Під час аналізу не було виявлено елементів механічного забруднення (пил, бруд).

У зразку меду №2 виявлено вміст пилкових зерен (993 шт.) та падевих елементів (140 шт.), що відповідає вимогам ДСТУ 4497–2005 [14] (1133 шт./препарат). Коефіцієнт співвідношення структурних елементів становив 0,14, що відповідає критеріям квітково меду за методом визначення ГОСТ 32168-2013 [15]. У пилковому профілі домінуючі (понад 45%) пилкові зерна відсутні, що дозволяє на підставі гармонізованих методів мелісопалінології стверджувати ботанічний сорт меду – квітковий поліфлорний (з

весняного різнотрав'я, кущів та дерев). У пилковому профілі меду виявлено чотири ендемічні рослини степу України (шипшина степова, мигдаль степовий, тамарикс галузистий, фіалка окультна), котрі можуть слугувати для географічного зазначення продукту. Серед падевих елементів було виявлено 12,36% паді рослинного походження (в тому числі, спори грибів). Під час аналізу елементів механічного забруднення не було виявлено (табл.).

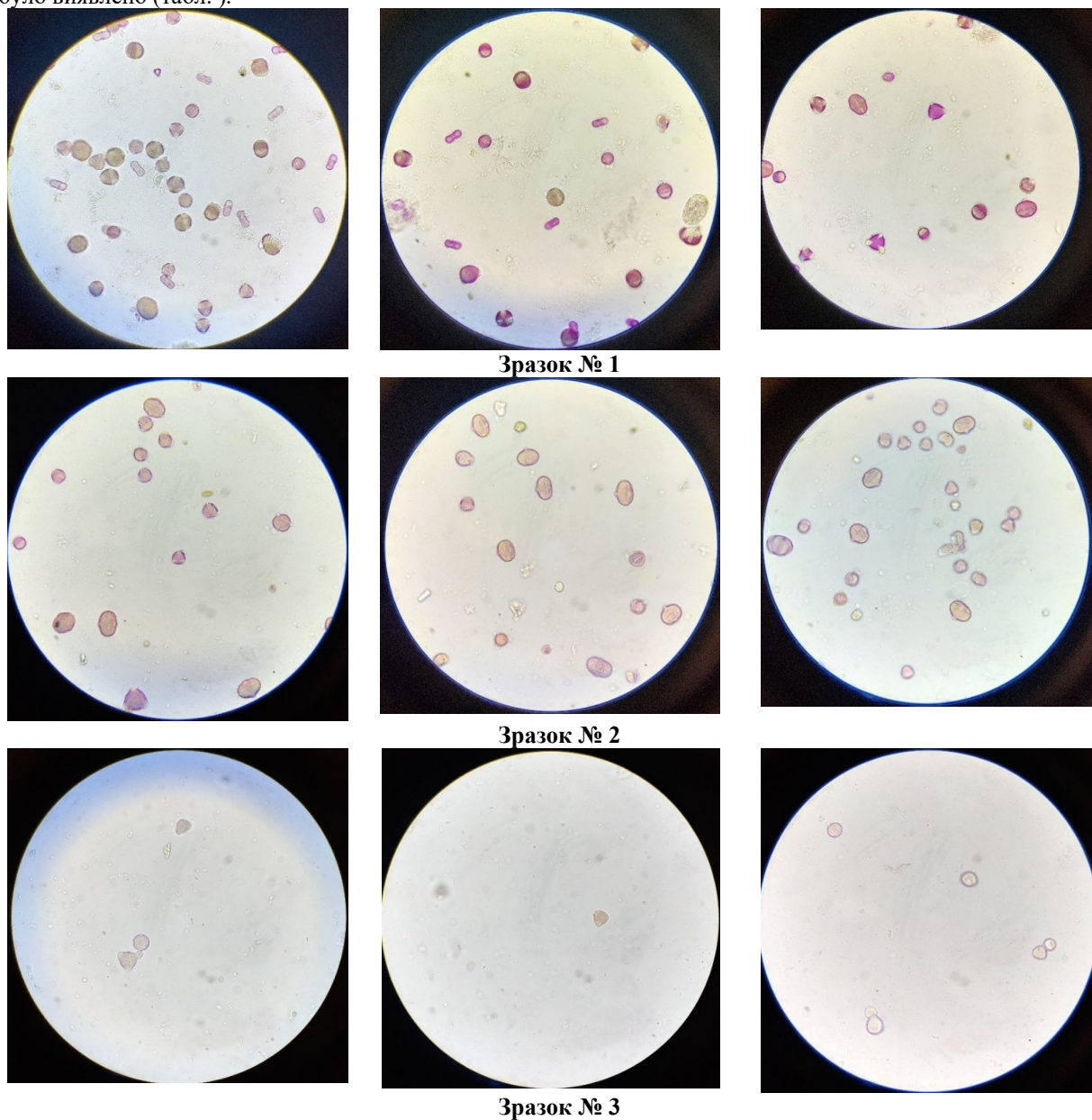


Рис. Типові пилкові зерна у складі пилкового профілю медів Південної Бесарабії отриманих у весняний період (ок. 10 х об. 40)

За результатами мелісопалінологічного дослідження зразка меду № 3 виявлено вміст пилкових зерен (197 шт.) та падевих елементів (45 шт), що відповідає вимогам ДСТУ 4497–2005 [14] (242 шт./препарат) для заявленого ботанічного сорту (білоакацієвий). Особливістю білоакацієвого меду є мала кількість пилкових зерен, що зумовлено інтенсивністю медозбору (значна кількість нектару надходить у гнізда бджіл за короткий період часу), низькою пилкопродуктивністю рослини та будовою пилкових зерен. Коефіцієнт співвідношення структурних елементів становив 0,23, що відповідає критеріям квітково меду за методом визначення ГОСТ 32168-2013 [15].

У пилковому профілі зразка меду № 3 присутні домінуючі (понад 20%) пилкові зерна робінії звичайної та тамариксу галузистого (лише пилконос), що дозволяє на підставі гармонізованих методів мелісопалінології [4] та Наказу Мінагрополіки № 330 «Про затвердження Вимог до меду» [16] стверджувати ботанічний сорт меду – монофлорний білоакацієвий. У пилковому профілі цього меду виявлено чотири види ендемічних рослин степу України: тамарикс галузистий, горошок паннонський, айлант, в'яз низький. Серед падевих елементів було виявлено 2,07% рослинного (спори грибів *Alternaria*) і 16,53 % рослинних часток, що вказує на вміст паді рослинного походження. Під час аналізу не було виявлено елементів механічного забруднення.

У пилковому профілі медів отриманих у весняний період з різних локацій (пасік) Південної

Бессарабії у переважній більшості було виявлено пилкові зерна різних видів рослин. Однак, деякі морфотипи пилку знаходили в зразках повторно, а саме: рід Вика, рід Слива, маслинка вузьколиста, чистотіл звичайний, фіалку окультну (ендемик), в'яз низький (ендемик), тамарикс галузистий (ендемик). У досліджених зразках меду виявлено пилкові зерна 8 ендемічних видів рослин, які можуть бути використані для ідентифікації продукту при географічному зазначенні походження з Південної Бессарабії.

Таблиця

Пилковий профіль медів Південної Бессарабії отриманих у весняний період

Вид, рід, родина,	№ зразка, % пилових зерен		
	1	2	3
Робінія звичайна, <i>Robinia pseudoacacia</i>	-	-	28,93
Ріпак, <i>Brassica napus</i>	25,64	-	-
Вика рід, <i>Vicia</i>	4,52	25,60	-
Тамарикс галузистий, <i>Tamarix ramosissima</i> , ^E	-	1,32	20,66
Таволга рід, <i>Spiraea</i>	-	20,30	-
Миколайчики плоскі, <i>Eryngium planum</i>	19,61	-	-
Природні домішки	6,03	-	16,53
Розові родина (плодові)	13,57	-	-
Слива рід, <i>Prunus</i>	-	6,18	12,40
Падь рослинного походження	-	12,36	2,72
Маслинка вузьколиста, <i>Elaeagnus angustifolia</i>	1,36	9,71	-
Горошок паннонський, <i>Lathyrus pannonicus</i> , ^E	-	-	8,26
Фацелія пижмолиста, <i>Phacelia tanacetifolia</i>	6,79	-	-
Амфора куцова, <i>Amorpha fruticosa</i>	-	5,30	-
Чистотіл звичайний, <i>Chelidonium majus</i>	4,15	1,77	-
Клени рід, <i>Acer</i>	-	-	4,13
Шипшина степова, <i>Rosa tesquicola</i> , ^E	-	3,97	-
Біфора промениста, <i>Bifora radians</i> , ^E	3,77	-	-
Айлант, <i>Ailanthus altissima</i> , ^E	-	-	3,72
Вільха рід, <i>Alnus</i>	-	3,53	-
Глуха кропива пурпурова, <i>Lamium purpureum</i>	3,39	-	-
В'яз низький, <i>Urtica pumila</i> , ^E	0,75	-	3,31
Мигдаль степовий, <i>Prunus tenella</i> , ^E	-	3,09	-
Бедрина звичайний, <i>Pimpinella saxifraga</i>	3,02	-	-
Вербозілля лучне, <i>Lysimachia nummularia</i>	-	2,65	-
Горлянка женецька, <i>Ajuga genevensis</i>	2,64	-	-
Куряча сліпотка звичайна, <i>Nonea pulla</i>	2,26	-	-
Фіалка польова, <i>Viola arvensis</i>	1,21	-	-
Підбіл звичайний, <i>Tussilago farfara</i>	-	1,15	-
Фіалка окультна, <i>Viola occulta</i> , ^E	0,90	0,97	-
Кипарисові родина, <i>Cupressaceae</i>	-	0,79	-
Шавлія лікарська, <i>Salvia officinalis</i>	-	0,71	-
Інші пилкові зерна	0,38	0,62	-

Примітка: домінуючий пилок (predominant pollen) $\geq 45\%$ (≥ 20 – Robinia, Tilia), вторинний пилок (secondary pollen) 16-45%, незначний (minor pollen) $\leq 16\%$, включення пилку (including pollen) $\leq 1\%$; ЧК – має охоронний статус, внесений до Червоної книги, E – ендемік.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Пилковий профіль весняних медів Південної Бессарабії представлений 30 морфотипами пилових зерен різних видів рослин, містить падь природного походження та природні домішки (частки рослин, воску, тіла бджіл). У пилковому профілі медів не було виявлено домінуючих (45% і більше) пилових зерен, вторинних – 6, незначних – 21, включення – 3 морфотипи.

У пилковому профілі весняних медів Південної Бессарабії виявлено пилкові зерна ендемічних видів рослин степу України (тамарикс галузистий, горошок паннонський, шипшина степова, біфора промениста, айлант, в'яз низький, мигдаль степовий, фіалка окультна). Отримані результати у подальшому можуть бути використані для ідентифікації географічного походження меду з цього регіону.

У подальшому буде перспективним дослідити пилкові профілі літніх медів Південної Бессарабії та інших етнографічних регіонів України.

Література

1. Адамчук Л., Дослідження оригінальних сортів меду / Адамчук Л., Дудченко Н., Лісогурська Д., Пилипко К. // Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації. – 2021. – Вип. 4(1). – С. 137–157.
2. Haidamus S. L. Biological elements and residues in Brazilian honeys / Haidamus S. L., Lorenzon M. A., Barth O. M. // Greener Journal of Biological Sciences. – 2019. – №9(1). – P. 8–14.
3. Bagameri L. Microscopical techniques used in melissopalynology for botanical origin of honey determination /

- Bagameri L., Giurgiu A. I., Baci G. M., Bobiş O., Dezmirean D. S. // *Scientific Papers. Series D. Animal Science.* – 2021. – Vol. LXIV. – №1. – P. 423–428.
4. Von Der Ohe W. Harmonized methods of melissopalynology / Von Der Ohe W., Oddo L. P., Piana M. L., Morlot M., Martin P. // *Apidologie.* – 2004. – №35(1). – P. 18–25.
5. Vossler F. G. Assessment of pollen and honey diet of *Tetragonisca angustula fiebrigi* Schwarz in the Chaco dry forest by using pollen analysis / Vossler F. G. // *Grana.* – 2021. – Vol. 60. – Is. 4. – P. 287–309.
6. Mangi J. U. Pollen analysis: using melissopalynology to determine the bee-foraged sources from tando allah yar and tando muhammad khan, two agriculturally important districts of Sindh, Pakistan / Mangi J. U., Soomro N. U. A., Jilani N. S., Ghoto S. A., Panhwar M., Jamali A. R. // *Pak. J. Bot.* 2021. – № 53(6). – P. 2157–2169.
7. Адамчук Л. Характеристика українських падевих медів / Адамчук Л., Дудченко Н., Генгалю Н. // *Продовольчі ресурси.* – 2021. – Т. 9. – № 16. – С. 6–19.
8. Лазарева Л. Оцінка якості падевого меду України / Лазарева Л., Постоецько В., Акименко Л., Постоецько Г. // *Scientific Collection «Interconf».* – 2021. – Вип. 86. – С. 477–482.
9. Хамід К. Оцінка показників якості меду різного походження / Хамід К., Данчук О. // *Аграрний вісник Причорномор'я.* – 2021. Вип. 98. – С. 111–115.
10. Нікольський А. Хімічний склад меду та його біологічні і лікувальні властивості / Нікольський А., Слюсаренко С. // *Наукові пошуки молоді у XXI столітті. Новітні технології виробництва та переробки продукції тваринництва, харчові технології: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. студентів (14 квітня 2021 р., Біла Церква).* – БНАУ. – 2021. – С. 94–96.
11. Adamchuk L. Improvement of the method of botanical identification of honey / Adamchuk L. // *Food Science and Technology.* – 2020. – Vol. 14(4). P. 33–42.
12. PalDat – Palynological Database an online publication on recent pollen. AutPal - Society for the Promotion of Palynological Research in Austria. ZVR-Zahl: 378481059. Department of Botany and Biodiversity Research. University of Vienna. Available at: <https://www.paldat.org/>
13. Пат. на корисну модель № 144626 України. МПК (2020) A23L2 1/20 A23L2 1/25. Метод створення стандартних зразків депозитарію пилок зерен для їх ботанічної ідентифікації у меду / Л.О. Адамчук, В.Ю. Сухенко ; заявник і патентовласник Л.О. Адамчук. – № у 2020 03330 ; заяв. 01.06.2020 ; опубл. 12.10.2020, Бюл.№ 19. – 3 с.
14. Мед натуральний. Технічні умови : ДСТУ 4497:2005. – [Чинний від 2007–01–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 22 с. – (Національний стандарт України).
15. Мед. Метод определения падевого меда. Honey. Method for the determination of honeydew honey : ГОСТ 32168-2013. – [Действует от 2014–01–01]. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с. – (Межгосударственный стандарт).
16. Про затвердження Вимог до меду : Наказ МінАПК №330. – [Чинний від 2019–06–19]. – Київ : Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2019.

References

1. Adamchuk L., Doslidzhennia oryhnalnykh sortiv medu / Adamchuk L., Dudchenko N., Lisohurska D., Pylypko K. // *Restorannya i hotelnyi konsal'tynh. Innovatsii.* – 2021. – Вип. 4(1). – С. 137–157.
2. Haidamus S. L. Biological elements and residues in Brazilian honeys / Haidamus S. L., Lorenzon M. C. A., Barth O. M. // *Greener Journal of Biological Sciences.* – 2019. – №9(1). – P. 8–14.
3. Bagameri L. Microscopical techniques used in melissopalynology for botanical origin of honey determination / Bagameri L., Giurgiu A. I., Baci G. M., Bobiş O., Dezmirean D. S. // *Scientific Papers. Series D. Animal Science.* – 2021. – Vol. LXIV. – №1. – P. 423–428.
4. Von Der Ohe W. Harmonized methods of melissopalynology / Von Der Ohe W., Oddo L. P., Piana M. L., Morlot M., Martin P. // *Apidologie.* – 2004. – №35(1). – P. 18–25.
5. Vossler F. G. Assessment of pollen and honey diet of *Tetragonisca angustula fiebrigi* Schwarz in the Chaco dry forest by using pollen analysis / Vossler F. G. // *Grana.* – 2021. – Vol. 60. – Is. 4. – P. 287–309.
6. Mangi J. U. Pollen analysis: using melissopalynology to determine the bee-foraged sources from tando allah yar and tando muhammad khan, two agriculturally important districts of Sindh, Pakistan / Mangi J. U., Soomro N. U. A., Jilani N. S., Ghoto S. A., Panhwar M., Jamali A. R. // *Pak. J. Bot.* 2021. – № 53(6). – P. 2157–2169.
7. Адамчук Л. Характеристика українських падевих медів / Адамчук Л., Дудченко Н., Генгалю Н. // *Продовольчі ресурси.* – 2021. – Т. 9. – № 16. – С. 6–19.
8. Lazarijeva L. Otsinka yakosti padevoho medu Ukrainy / Lazarijeva L., Postoienco V., Akymenko L., Postoienco H. // *Scientific Collection «Interconf».* – 2021. – Вип. 86. – С. 477–482.
9. Khamid K. Evaluation of quality indicators of honey of different origin / K. Khamid, O. Danchuk // *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral.* – 2021. – Is. 98. – P. 111–115.
10. Nikolskyi A. Khimichni sklad medu ta yoho biolohichni i likuvalni vlastyvoli / Nikolskyi A., Sliusarenko S. // *Naukovi poshuky molodi u KhKhI stolitti. Novitni tekhnologii vyrobnytstva ta pererobky produktsii tvarynnytstva, kharchovi tekhnologii: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. studentiv (14 kvitnia 2021 r., Bila Tserkva).* – БНАУ. – 2021. – С. 94–96.
11. Adamchuk L. Improvement of the method of botanical identification of honey / Adamchuk L. // *Food Science and Technology.* – 2020. – Vol. 14(4). P. 33–42.
12. PalDat – Palynological Database an online publication on recent pollen. AutPal - Society for the Promotion of Palynological Research in Austria. ZVR-Zahl: 378481059. Department of Botany and Biodiversity Research. University of Vienna. Available at: <https://www.paldat.org/>
13. Пат. на корисну модель № 144626 України. МПК (2020) A23L2 1/20 A23L2 1/25. Метод створення стандартних зразків депозитарію пилок зерен для їх ботанічної ідентифікації у меду / Л.О. Адамчук, В.Ю. Сухенко ; заявник і патентовласник Л.О. Адамчук. – № у 2020 03330 ; заяв. 01.06.2020 ; опубл. 12.10.2020, Бюл.№ 19. – 3 с.
14. Мед натуральний. Технічні умови : ДСТУ 4497:2005. – [Чинний від 2007–01–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 22 с. – (Національний стандарт України).
15. Мед. Метод определения падевого меда. Honey. Method for the determination of honeydew honey : ГОСТ 32168-2013. – [Действует от 2014–01–01]. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с. – (Межгосударственный стандарт).
16. Про затвердження Вимог до меду : Наказ МінАПК №330. – [Чинний від 2019–06–19]. – Київ : Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2019.

Рецензія/Peer review : 14.01.2022 р.

Надрукована/Printed : 27.02.2022 р.

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

DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-25-30
УДК 687.016.5:004.891.2

ЗАХАРКЕВИЧ О. В.
ORCID ID: 0000-0002-6542-9727
e-mail: zakharkevych@khmnu.edu.ua

КОШЕВКО Ю. В.
ORCID ID: 0000-0001-7275-0853
e-mail: juliakoshevko@khmnu.edu.ua

ЛИСЕНКО С. М.
ORCID ID: 0000-0001-7243-8747
e-mail: sprlysenko@gmail.com
Хмельницький національний університет

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА
УПОРЯДКУВАННЯ МОДНОГО ГАРДЕРОБУ**

В роботі наведено обґрунтування вибору мобільних додатків-органайзерів гардеробу для застосування їх в процесі навчання здобувачів вищої освіти усіх рівнів спеціальності 182 «Технології легкої промисловості» і/або споріднених спеціальностей, використання представниками сектору реальної економіки і експлуатації кінцевими споживачами продукції на основі порівняльного аналізу існуючих додатків на ринку мобільних технологій.

Ключові слова: мобільний додаток, капсульний гардероб, організація гардеробу.

OKSANA ZAKHARKEVICH, JULIA KOSHEVKO, SERGII LYSENKO
Khmelnitskyi National University

**JUSTIFICATION FOR THE CHOICE OF MOBILE APPLICATIONS FOR CREATING AND ORGANIZING A
FASHIONABLE WARDROBE**

In recent years, there has been a noticeable trend in the research and development of mobile applications for working with consumers' wardrobes. Several applications have similar functions. The applications can be found on the platforms of Google Play, App Store, and others. However, all these works are aimed primarily at meeting the needs of end-users of garment products.

Thus, the main goal of the current research is to provide a reasonable selection method to choose a mobile application for the specific situation. The performed comparative analysis of mobile applications for creating a capsule wardrobe allows one to reasonably choose a mobile application for use in the learning process, as well as in the domain of the real economy besides operating by end-users themselves. In this case, in a specific project or a specific educational situation, it is advisable to form a list of additional requirements that are key to solving this problem. The formulated working hypothesis of the research on the possibility of adapting existing mobile applications to the production/training needs of the apparel industry has been confirmed by the example of several applications.

The use of ready-made mobile applications that already exist in the market of mobile technologies, allows companies to offer technology that does not require any costs for its implementation; it does not require any additional equipment - almost every employee already has a smartphone. In addition, such technology does not require additional training. The same thesis applies to education: no additional equipment is needed to attract such technology. Higher education students can take advantage of automation even in classrooms that are not equipped with computers. The implementation of digital tools such as mobile applications in the educational process will increase the interest and involvement of students in the learning process. Customizing mobile applications that are already on the mobile market will create a transition between the learning process and specific project situations in the workplace. It will provide the young specialist with a digital tool that avoids mechanical errors and facilitates the decision-making process.

Keywords: mobile application, capsule wardrobe, wardrobe organizer.

**Постановка проблеми у загальному вигляді
та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Глобалізація ринку модного одягу та взуття, значний вплив соціальних мереж та швидкість розповсюдження модних трендів вимагають наявності у арсеналі фахівця легкої промисловості відповідних мобільних технологій. Ця теза є актуальною як для підприємств легкої промисловості, так і для навчальних закладів усіх рівнів, оскільки відсоток населення будь-якої країни світу, яке користується мобільними і планшетними пристроями, досягає максимального рівня протягом останніх років. Крім того, якщо конструктор одягу чи взуття, який працює в масовому виробництві, вже давно переніс своє робоче місце у віртуальний простір САПР, то студент, який лише опановує професію, а разом з ним і викладач, працюють в ручному або напівручному режимі. Для вирішення завдань вивчення процесу побудови конструкції САПР є занадто дорогим інструментом, який, крім того, не має потрібного функціоналу. Калькулятори, хоч і досить зручні для такого виду завдань, проте такий розрахунок займає багато часу, а кількість виконуваних маніпуляцій підвищує ризик виникнення помилок. Додатковим фактором, що свідчить про потребу в розробці мобільних технологій, є необхідність впровадження дистанційних форм як навчання, так і виробництва, з якою стикнулись усі підприємства та освітні заклади світу у зв'язку з пандемією COVID-19.

Хоча на ринку мобільних технологій досить багато різних мобільних додатків, які є достатньо корисними, щоб вважатися відмінними представниками мобільного сервісу в повсякденному житті

спеціалістів швейної галузі, в наукових працях розробки, пов'язані з безпосереднім проектуванням виробів легкої промисловості, – практично відсутні.

Аналіз останніх джерел

Мобільні додатки у легкій промисловості, описані в науковій літературі, часто пов'язані з безпосереднім виробництвом смарт-одягу та смарт-взуття, наприклад взуття для сліпих людей [1] і технологія смарт-навігації, вбудована у взуття для байкерів та велосипедистів [9]. Проте можливості використання мобільних додатків для навчання або як інструмент в процесі навчання, в тому числі інженерів [4] та дизайнерів одягу [6], досить широко висвітлені в науковій літературі. Педагогічні та технологічні переваги мобільного навчання визнані науковцями та педагогами [2, 6, 7]. Такі дослідження проводились у різних сферах, як-от: інтерактивні середовища навчання для дітей [2], навчання в галузі клінічної медицини [8], вивчення мов [4], вивчення фізичних явищ з використанням смартфонів тощо. Автори цих робіт приходять до висновку, що навчання з використанням планшетів та смартфонів, а також різних додатків у порівнянні з традиційними методами забезпечує кращі результати навчання студентів і одночасно краще задовольняє потреби викладачів.

Найширше застосування мобільні додатки знайшли у сфері вивчення мов [4]. Автори приходять до висновку, що хоча якість та доцільність окремих завдань у різних додатках не однакова, проте зазвичай студенти, які приймають участь у дослідженнях, висловлюють позитивне ставлення до таких інструментів навчання.

Дослідження, присвячені визначенню кращих технологій сканування стоп за допомогою мобільних додатків, представлені у працях [3, 5]. Такі результати можуть бути використані для подальших досліджень та імплементації цих додатків у процес проектування виробів легкої промисловості. Переважна більшість описаних науковцями мобільних додатків розроблені для операційної системи Android. Лише один додаток запропонований для операційної системи iOS [5].

В останні роки помітний тренд щодо досліджень та розробки мобільних додатків для роботи з гардеробом споживачів [10-12]. Можливість застосування мобільних додатків для навчання організації гардеробу дорослих з порушеннями інтелектуального розвитку підтверджена дослідженнями [11]. Окрім безпосередньої функції організації гардеробу, додаток відіграє роль візуального нагадування і порадики щодо підбору стилю для визначеної події.

Подібні функції має цілий ряд додатків, які можна знайти на платформах Google Play, App Store та ін. Зокрема, у роботі Д. Басшикизи [10] описано роботу декількох найбільш популярних мобільних додатків у цій сфері. Найбільше уваги приділено додатку Smart Wardrobe, розробленому на базі операційної системи Android. Схожі додатки за функціоналом та призначенням описані і у праці [12]. Проте, всі ці роботи спрямовані переважно на задоволення потреб кінцевих споживачів продукції швейного виробництва. При цьому життєвий цикл моделей одягу складається із чотирьох великих етапів: проектування, виготовлення, реалізація і експлуатація. Окремі спроби забезпечити цифровими інструментами етапи проектування описані в роботах [13-14], забезпечення інших етапів частково розглянуто у [15] без акцентування уваги на особливостях роботи саме додатків та можливості їх застосування у процесі навчання студентів.

Формування цілей статті

Метою роботи є: обґрунтування вибору мобільних додатків-органайзерів гардеробу для застосування їх в процесі навчання здобувачів вищої освіти усіх рівнів спеціальності 182 «Технології легкої промисловості» та споріднених спеціальностей, використання представниками сектору реальної економіки і експлуатації кінцевими споживачами продукції на основі порівняльного аналізу існуючих додатків на ринку мобільних технологій.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

- сформулювати робочу гіпотезу дослідження;
- виконати порівняльний аналіз існуючих мобільних додатків для створення капсульної гардеробу, його планування та організації;
- розробити рекомендації щодо обґрунтованого вибору мобільного додатку для застосування у процесі навчання, використання представниками сектору реальної економіки, експлуатації кінцевими споживачами продукції.

Робочою гіпотезою даного дослідження є сукупність наступних припущень.

Припущення 1. Цифровий інструментарій, який використовується студентами під час навчання спеціальності 182 «Технології легкої промисловості» та споріднених спеціальностей («Дизайн», «Професійна освіта» тощо), може бути використаний безпосередньо на виробництві та під час експлуатації виробів.

Припущення 2. Окремі ключові етапи життєвого циклу моделі одягу можуть бути забезпечені інструментарієм існуючих на ринку мобільних додатків і не потребують їх додаткової розробки, а лише адаптації та тестування.

Припущення 1 підтвержене результатами попередніх досліджень [13-14], в яких викладено передумови розробки та застосування таких мобільних додатків як CloStyler [13], RDMK Step-by-Step [14],

SHOES Step-by-Step [14], які призначені для автоматизації процесів розрахунків конструкцій виробів легкої промисловості різних видів. Згадані мобільні додатки активно використовуються в навчальному процесі здобувачами вищої освіти усіх рівнів спеціальності 182 «Технології легкої промисловості» Хмельницького національного університету при вивченні дисциплін «Основи комп'ютерного дизайну», «Комп'ютерні технології у галузі», «Проектування одягу на нетипові фігури», під час курсового проектування та в процесі виконання магістерської роботи.

Усі вказані додатки реалізуються через платформу Google Play: найпопулярнішою є безкоштовна версія додатку CloStyler (більше 2200 завантажень з середньою оцінкою 4,064 на основі 47 відгуків). Отже, мобільні додатки, які підтримують ключові етапи проектування та виготовлення виробів легкої промисловості (насамперед одягу та взуття), знайдуть своє застосування як у закладах освіти, так і в реальному секторі економіки (зокрема в царині індивідуального виготовлення одягу та аксесуарів).

У дорожній карті «Україна: дорожня карта розвитку галузей виробництва одягу та взуття» вказані основні проблеми галузі, серед яких: труднощі в отриманні фінансування для вдосконалення технології і збільшення потужності; низька продуктивність через відсутність технічних навичок, технологій та інфраструктури. Використання готових мобільних додатків, які вже існують на ринку мобільних технологій, дозволяє запропонувати підприємствам галузі технологію, яка не вимагає жодних затрат для її впровадження; вона не вимагає жодного додаткового обладнання – практично кожен працівник підприємства уже має смартфон; крім того, така технологія не вимагає додаткового навчання. Ця ж сама теза стосується і освіти: не потрібно жодного додаткового обладнання для залучення такої технології. Здобувачі вищої освіти можуть використовувати переваги автоматизації навіть в аудиторіях, які не обладнані комп'ютерною технікою. Особливо важливою ця теза стає в умовах карантинних обмежень, спричинених COVID19, коли підприємства перебувають у складному фінансовому становищі і не можуть купувати додаткового програмного забезпечення та комп'ютерної техніки.

Імплементация в навчальний процес таких цифрових інструментів як мобільні додатки дозволить підвищити зацікавленість і залученість студентів у процес навчання технічними спеціальностями. Адаптація готових мобільних додатків, які уже є на ринку мобільних технологій, дозволить створити перехідну ланку між процесом навчання та конкретними проектними ситуаціями на виробництві, надаючи молодому спеціалісту цифровий інструмент, який дозволяє йому уникнути механічних помилок і сприятиме процесу прийняття рішення. Використання мобільних додатків скоротить рутинні процеси проектування в десятки разів, що в свою чергу, дозволить частково вирішити проблему низької продуктивності праці конструкторів навіть без залучення САПР одягу.

Згідно з викладеним вище аналізом літературних джерел [10-15], популярними серед споживачів, проте, практично не адаптованими до застосування спеціалістами безпосередньо швейної галузі є мобільні додатки, віднесені до такого етапу життєвого циклу моделі одягу як експлуатація.

За допомогою пошуку у Google Play Market та App Store за ключовими словами «wardrobe», «wardrobe organizer», «гардероб», «організація гардеробу», «капсульний гардероб» та інших слів-синонімів було виявлено 39 мобільних додатків, які можуть бути кваліфіковані як «додатки-органайзери гардеробу або додатки для створення капсульного гардеробу». Для виявлення доцільності адаптації цих додатків у процесі навчання студентів спеціальності 182 «Технології легкої промисловості» і/або споріднених спеціальностей, а також для використання у реальному секторі економіки, окрім заявленого їх розробниками прямого призначення, виконано аналіз ринку мобільних додатків по роботі з гардеробом (рис. 1) та їх порівняльний аналіз (таблиця 1).

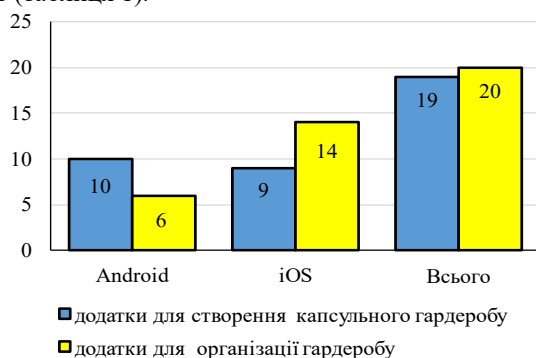


Рис. 1. Співвідношення видів мобільних додатків по роботі з гардеробом

Як видно з гістограми (рис. 1), в цілому ринок мобільних додатків у однаковій мірі насичений як інструментами створення завершених образів та розробки рекомендацій щодо переважних варіантів художньо-конструктивних рішень одягу для індивідуального споживача (капсульний гардероб), так і інструментами, які виконують функції органайзера гардеробу (планування, збір статистичних даних, створення пакувальних списків тощо). Проте на платформі App Store (операційна система iOS) спостерігається переважання додатків, що призначені для організації гардеробу.

Результати представленого порівняльного аналізу додатків доцільно застосовувати при вирішенні конкретного виробничого/навчального завдання з метою обґрунтованого вибору мобільного додатку. Умови навчального процесу надають перевагу використанню безкоштовних програмних продуктів. При цьому для забезпечення уніфікованості поставлених завдань, забезпечення рівних умов оцінювання результатів виконання лабораторних/практичних робіт здобувачами освіти, – доцільно обирати мобільні додатки, які орієнтовані одночасно на дві найпопулярніші операційні системи iOS і Android.

У таблиці 1 позиції 2, 3 та 18 характеризуються найбільшим функціоналом і мають найвищий

рейтинг серед користувачів. Оскільки додаток My Closet Organizer OOTD (позиція 2 у таблиці 1) безкоштовний – його доцільно рекомендувати для використання здобувачами освіти. Слід відмітити, що додаток Closet+ (позиція 18 у таблиці 1) володіє дещо меншим функціоналом, у порівнянні з додатками My Closet Organizer OOTD та Smart Closet – Fashion Style (позиція 3), проте безкоштовність додатку є його безумовною перевагою.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз мобільних додатків по роботі з гардеробом (фрагмент)

№ п/п	Назва	Додавання зображення	Категоризація	OC	Можливість поширювати	Збір статистичних даних	Календар / планування	Інструмент видалення фону	Кількість оцінок	Монетизація	Рейтинг
1	Purple Outfit Planner	Фото, пошук онлайн	Призначення, колір, бренд, ціна, сезон тощо	iOS	-	-	+	-	21	Безкоштовний	4,2
2	My Closet Organizer OOTD	Фото, пошук онлайн	Погода, призначення	iOS	+	+	+	+	6	Безкоштовний	4,5
3	Smart Closet – Fashion Style	Фото, пошук онлайн	Призначення, колір, бренд, ціна, сезон тощо	iOS Android	+	+	+	+	90	Комерційний	4,7
4	Гардеробная Одежда и Обувь	Фото	Призначення, види одягу, аксесуари, взуття тощо	iOS	-	-	-	+	1	Безкоштовний	1,0
5	What's in my Closet / Wardrobe	Фото	-	iOS Android	-	-	-	-	0	Безкоштовний	-
6	Dress Assistant	Фото	Призначення	iOS	-	-	-	-	0	Комерційний	-
7	Stylebook	Фото	Призначення	iOS	-	+	-	-	15	Комерційний	4,5
8	Wardrobe Colors and Shades	Фото	Призначення, стилі, колір/гама кольорів	iOS	-	-	+	-	1	Безкоштовний	5,0
9	XZ Closet	Фото, пошук онлайн	Призначення, погода, температура	iOS Android	-	-	-	+	3	Безкоштовний	3,7
10	FD	Рисунки	-	iOS	-	-	-	-	5	Безкоштовний	4,2
11	Your Apparel pick style planner	-	Призначення	iOS	-	-	-	-	0	Безкоштовний	-
12	Wardrobe: Outfit ideas for men	Рисунки	Призначення, погода	iOS	-	-	+	-	0	Безкоштовний	-
13	Arrange Wardrobe	Фото	Призначення, види одягу	iOS	-	-	-	+	0	Безкоштовний	-
14	Pickio Fashion & wardrobe assistant	-	-	iOS	+	-	-	-	0	Безкоштовний	-
15	Stylicious: Closet & Lookbook	Фото	Призначення, види одягу, взуття, аксесуари	iOS Android	-	-	+	-	2	Безкоштовний	4,5
16	Cladwell	Фото, пошук онлайн	-	iOS	+	-	+	-	3	Безкоштовний	4,0
17	Manage Attire Dress Wardrobe	Фото	Призначення, комфортність, дизайн, колір, сезон	iOS	-	+	-	-	0	Безкоштовний	-
18	Closet+	Фото	Призначення (категорії / підкатегорії), ціна, колір, споживчі категорії	iOS	+	+	+	-	2	Безкоштовний	5,0
19	kloz.it: Wardrobe Organization	Фото	Призначення	iOS	-	-	-	-	0	Безкоштовний	-
20	My Wardrobe Your Clothes	Фото	-	iOS	-	+	-	-	0	Комерційний	-
21	SC Style Concierge	Онлайн	-	iOS	-	-	+	-	0	Безкоштовний	-
22	Wear	Фото, пошук онлайн	Призначення	iOS	+	-	-	-	1	Комерційний	4,0
23	Dress-MeApp: outfit ideas	-	-	iOS	-	-	-	-	3	Безкоштовний	5,0

Примітка: у таблиці 2 позначка «-» свідчить про відсутність функції у додатку або відсутність інформації про таку функцію у описі додатку для користувачів.

Варто зауважити, що окремі з розглянутих додатків мають специфічні функції: можливість формування списків пакування (Stylebook, Closet+); формування автоматизованих рекомендацій по стилю та створенню переважних варіантів художньо-конструктивних рішень одягу для індивідуального споживача (Cladwell, Dress-MeApp: outfit ideas); наявність сканера кольору та можливості підбору гармонійних кольорів (Wardrobe Colors and Shades); формування рекомендацій по підбору одягу відповідно до погодних умов (Wardrobe: Outfit ideas for men). Крім того, окремі додатки призначені виключно для користування представників однієї або іншої статі (Wardrobe: Outfit ideas for men).

Приклад адаптації існуючого на ринку мобільного додатку-органайзера гардеробу для складання моделі одягу-конструктора описано у роботі [16]. Для того, щоб додаток можна було застосувати для заданих умов, автори сформувавши перелік додаткових вимог, а саме:

- у додатку повинна бути можливість користувацького додавання та модифікування категорій;
- кількість категорій не повинна бути обмежена розробниками;
- у додатку повинна бути можливість масштабування окремих елементів один відносно одного;
- у додатку повинна бути функція видалення фону.

Описаним вимогам відповідає додаток Outfitboard (Android) (рис. 2-3).



Рис. 2. Додавання елементів одягу-конструктора до бази даних мобільного додатку Outfitboard [16]: а) вибір деталі з переліку; б) налаштування інструменту видалення фону; в) видалення фону; г) збереження категорій

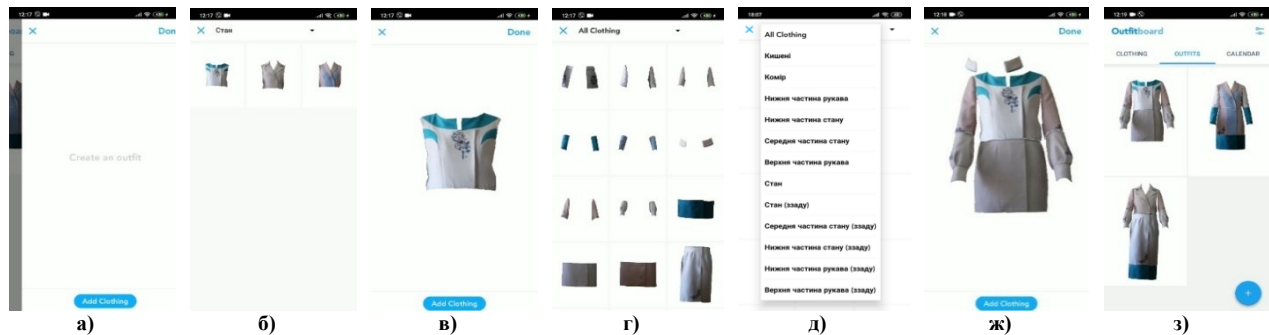


Рис. 3. Застосування мобільного додатку Outfitboard [16]: а) створення нової моделі; б) вибір стану; в) перегляд обраної деталі; г) додавання деталей із користувацьких категорій; д) перегляд користувацьких категорій; ж) складання моделі; з) перегляд готових моделей

Висновки

Виконаний порівняльний аналіз мобільних додатків для створення капсульної гардеробу, його планування та організації дозволяє обґрунтовано вибрати мобільний додаток для застосування у процесі навчання, використання представниками сектору реальної економіки, експлуатації кінцевими споживачами продукції. При цьому у конкретній проектній/навчальній ситуації доцільно формувати перелік додаткових вимог, які є ключовими для вирішення даного завдання.

Сформульована робоча гіпотеза дослідження щодо можливості адаптації існуючих мобільних додатків до виробничих/навчальних потреб легкої промисловості знайшла своє підтвердження на прикладі ряду додатків.

Література

1. Chandekar T. Implementation of Obstacle Detection and Navigation system for Visually Impaired using Smart Shoes / Chandekar T. Chouhan R., Gaikwad R., Gosavi H., & Darade S.A. // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2017. – Vol 4(4) – P. 2125–2129. <https://www.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET%20DV4i4444.pdf>
2. Kim, Y. Pedagogical and technological augmentation of mobile learning for young children interactive learning environments. / Kim, Y., & Smith, D. // Interactive Learning Environments. – 2017. – Vol 25(1) – P. 4–16. <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1087411>
3. Cheung K. Y. Big Foot: A Mobile Solution toward Foot Parameters Extraction / K. Y. Cheung, D. Reth, C. Song, Z. Li, Q. Li, W. Xu. // IEEE 16th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), Chicago, IL, USA. –2019. – P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/BSN.2019.8771077>
4. Pereira C.H. A mobile app for teaching formal languages and automata. / C.H. Pereira, R. Terra. // Computer Applications in Engineering Education. – 2018. – P. 1742-1752. <https://doi.org/10.1002/cae.21944>
5. Alfaro-Santafé J. Three-axis measurements with a novel system for 3D plantar foot scanning: iPhone X. / J. Alfaro-Santafé, A. Gómez-Bernal, C. Lanuza-Cerzócimo, J. V. Alfaro-Santafé, A. Pérez-Morcillo, A. J. Almenar-Arasanz. // Footwear Science. – 2020. – Vol. 12(2) – P. 123–131. <https://doi.org/10.1080/19424280.2020.1734867>
6. Борисенко Д. Використання мобільних додатків при розробленні дизайн-продукту у навчанні майбутніх фахівців з дизайну / Д. Борисенко // Information Technologies and Learning Tools. – 2018. – № 68(6):47. – С. 47–63. <https://doi.org/10.33407/itlt.v68i6.2224>

7. Morze N. Design of a University Learning Environment for SMART Education / N. Morze, E. Smyrnova-Trybulska, O. Glazunova // Smart Technology Applications in Business Environment. – 2019. – Vol 69 No 1 – P. 221-248. <https://pdfs.semanticscholar.org/a33a/7a7f88f84f8f467ba1ae80a841d8b43517de.pdf>
8. Mackaya B. Mobile technology in clinical teaching / B. J. Mackaya, J. Andersona, T. Hardingb // Nurse Education in Practice. – 2017. – Vol. 22 – P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2016.11.001>
9. Deshmukh G. Smart Navigational Shoes for Bikers/Cyclists / G. Deshmukh, V. Gawade, D. Gawari // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). – 2018. – Vol. 180 – № 41. P. 6-10. <https://doi.org/10.5120/ijca2018917062>
10. Basshykyz D. SMART WARDROBE-MOBILE APP / D. Basshykyz. // The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshepa. – 2021. – Vol. 19. – № 4. – P. 108–113. <https://doi.org/10.52167/1609-1817>
11. Digital Closets – An Engaging Method of Teaching Wardrobe Basics to Adults With Intellectual and Developmental Disabilities / [E. N. Hopfer, L. San Diego, J. Maree та ін.]. // International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings. – 2019. – 76910. – 4 p. <https://doi.org/10.31274/itaa.11199>
12. SMART WARDROBE – IOT BASED APPLICATION / J. Dalal, A. Dalmia, J. Desai, H. Amrutia. // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6. – № 4. – P. 3699–3702.
13. Zakharkevich O. “CloStyler” – mobile application to calculate the parameters of clothing blocks. / O. Zakharkevich, I. Poluchovich, S. Kuleshova, J. Koshevko, G. Shvets, A. Shvets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – 1031(1). – 012031. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1031/1/012031>
14. Zakharkevich O. Development of the mobile applications for using in apparel and shoes design / O. Zakharkevich, Y. Koshevko, S. Kuleshova, S Tkachuk, A. Dombrovskiy // Vlákna a textil. – 2021. – № 28(2). – P. 105–122. http://vat.ft.tul.cz/2021/2/VaT_2021_2_13.pdf
15. Zakharkevich O. Exploration of mobile applications to use in training of clothing patternmakers/ O. Zakharkevich, J. Koshevko // Advanced technologies in education, industry and the environment. Monograph: edited by Olga Paraska, Norbert Radek, Oleg Synyuk / O. Zakharkevich, J. Koshevko. – Kielce, Poland: Centre for Laser Technologies of Metals, 2020. – P. 23–32. <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/9203>
16. Сорока М. С. Удосконалення процесів проектування жіночих пальт у художній системі «Промислова колекція» на основі використання мобільних додатків : дипломна робота магістра : 182 Технології легкої промисловості / М. С. Сорока ; Хмельницьк. нац. ун-т. – Хмельницький, 2020. – 113 с. <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/9767>

References

1. Chandekar T. Implementation of Obstacle Detection and Navigation system for Visually Impaired using Smart Shoes / T. Chandekar, R. Chouhan, R. Gaikwad, H. Gosavi, S.A. Darade // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2017. – Vol. 4(4) – P. 2125–2129. <https://www.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET%20V4I4444.pdf>
2. Kim Y. Pedagogical and technological augmentation of mobile learning for young children interactive learning environments. / Y. Kim, D. Smith // Interactive Learning Environments. – 2017. – Vol. 25(1) – P. 4–16. <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1087411>
3. Cheung K. Y. Big Foot: A Mobile Solution toward Foot Parameters Extraction / K. Y. Cheung, D. Reth, C. Song, Z. Li, Q. Li, W. Xu // IEEE 16th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), Chicago, IL, USA. – 2019. – P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/BSN.2019.8771077>
4. Pereira C. H. A mobile app for teaching formal languages and automata. / C.H. Pereira, R. Terra // Computer Applications in Engineering Education. – 2018. – P. 1742-1752. <https://doi.org/10.1002/cae.21944>
5. Alfaro-Santafé J. Three-axis measurements with a novel system for 3D plantar foot scanning: iPhone X. / J. Alfaro-Santafé, A. Gómez-Bernal, C. Lanuza-Cerzócimo, J. V. Alfaro-Santafé, A. Pérez-Morcillo, A. J. Almenar-Arasanz. // Footwear Science. – 2020. – Vol 12(2) – P. 123–131. <https://doi.org/10.1080/19424280.2020.1734867>
6. Borysenko D. Vykorystannia mobilnykh dodatkov pry rozroblieni dizainu-produktu u navchanni maibutnykh fakhivtsiv z dizainu / D. Borysenko // Information Technologies and Learning Tools. – 2018. – № 68(6):47. – C. 47–63. <https://doi.org/10.33407/itlt.v68i6.2224>
7. Morze N. Design of a University Learning Environment for SMART Education / N. Morze, E. Smyrnova-Trybulska, O. Glazunova // Smart Technology Applications in Business Environment. – 2019. – Vol. 69. – № 1 – P. 221-248. <https://pdfs.semanticscholar.org/a33a/7a7f88f84f8f467ba1ae80a841d8b43517de.pdf>
8. Mackaya B. Mobile technology in clinical teaching / B. J. Mackaya, J. Andersona, T. Hardingb // Nurse Education in Practice. – 2017. – Vol. 22 – P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2016.11.001>
9. Deshmukh G. Smart Navigational Shoes for Bikers/Cyclists / G. Deshmukh, V. Gawade, D. Gawari // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). – 2018. – Vol. 180 – № 41. – P. 6-10. <https://doi.org/10.5120/ijca2018917062>
10. Basshykyz D. SMART WARDROBE-MOBILE APP / Dinara Basshykyz. // The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshepa. – 2021. – Vol. 19. – № 4. – P. 108–113. <https://doi.org/10.52167/1609-1817>
11. Digital Closets – An Engaging Method of Teaching Wardrobe Basics to Adults With Intellectual and Developmental Disabilities / [E. N. Hopfer, L. San Diego, J. Maree та ін.]. // International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings. – 2019. – 76910. – 4 p. <https://doi.org/10.31274/itaa.11199>
12. SMART WARDROBE – IOT BASED APPLICATION / J. Dalal, A. Dalmia, J. Desai, H. Amrutia. // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6. – № 4. – P. 3699–3702.
13. Zakharkevich O. “CloStyler” – mobile application to calculate the parameters of clothing blocks. / O. Zakharkevich, I. Poluchovich, S. Kuleshova, J. Koshevko, G. Shvets, A. Shvets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – 1031(1). – 012031. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1031/1/012031>
14. Zakharkevich O. Development of the mobile applications for using in apparel and shoes design / O. Zakharkevich, Y. Koshevko, S. Kuleshova, S Tkachuk, A. Dombrovskiy // Vlákna a textil. – 2021. – № 28(2). – P. 105–122. http://vat.ft.tul.cz/2021/2/VaT_2021_2_13.pdf
15. Zakharkevich O. Exploration of mobile applications to use in training of clothing patternmakers/ O. Zakharkevich, J. Koshevko // Advanced technologies in education, industry and the environment. Monograph: edited by Olga Paraska, Norbert Radek, Oleg Synyuk / O. Zakharkevich, J. Koshevko. – Kielce, Poland: Centre for Laser Technologies of Metals, 2020. – P. 23–32. <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/9203>
16. Soroka M. S. Udokonalennia protsesiv proiektuvannia zhinochykh palt u khudozhnii systemi «Promyslova kolektsiia» na osnovi vykorystannia mobilnykh dodatkov : dyplomna robota mahistra : 182 Tekhnologii lehkoi promyslovosti / M. S. Soroka ; Khmelnyts. nats. un-t. – Khmelnytskiy, 2020. – 113 s. <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/9767>

Рецензія/Peer review : 14.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

АБСТРАКТНА МОДЕЛЬ ВПЛИВІВ ЗЛОВМИСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В роботі запропонована абстрактна модель впливів зловмисного програмного забезпечення (ЗПЗ) дає змогу розглядати об'єкти комп'ютерної системи, на які можуть впливати ЗПЗ та комп'ютерні атаки. І, тому, вона була використана як основа для розробленого нового методу забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак.

В результаті, застосування розробленого методу здійснюється в системі, яка має механізми для перебудови та використовує надмірності. Особливістю основних кроків розробленого методу згідно параметричного контролю цілісності програмних файлів є можливість його застосування до групи програмних файлів, які не мають сталої контрольної суми і, цим самим він розширює можливості відомого методу виявлення ЗПЗ, а саме методу контролю цілісності програм, оснований на підрахунку контрольних сум. Порівняно з відомим застосування цього методу, то в попередніх роботах цей метод не міг бути використаний для контролю цілісності певної групи виконуваних файлів, які мають неоднорідну внутрішню структуру. До цієї групи відносяться і файли типу mde, які отримуються при компіляції програм, написаних в середовищі MS Access. Їх особливістю є та обставина, що вони мають складну внутрішню структуру, яка включає в себе, окрім програмного коду, структури, що є елементами бази даних, такі як таблиці, індекси, схему реляційної бази даних та інші. Цей крок методу розроблений для його застосування в ІС з підвищеною відмовостійкістю та посиленням захистом від ЗПЗ та комп'ютерних атак, а саме у другому, локальному контурі захисту, інтегрованому в програмне забезпечення спеціалізованої ІТ. Це диктується тією обставиною, що для його реалізації необхідна специфічна інформація про параметри реалізації програмного файлу, яка є невідомою на загальносистемному рівні, але відома на локальному, оскільки є інформацією, отриманою в процесі проектування та реалізації цієї частини спеціалізованої ІТ як єдиного цілого. Тому, розширено сферу застосування методу виявлення ЗПЗ на основі підрахунку контрольної суми на файли з несталими контрольними сумами, як кроку методу забезпечення відмовостійкості ІТ.

В результаті застосування розробленого методу здійснюється в системі, яка має механізми для перебудови та використовує надмірності. Для дослідження розробленого методу розроблено методику оцінювання його ефективності в частині надмірностей та резервування. Проведені експериментальні дослідження та оціночні розрахунки підтверджують ефективність розробленого методу забезпечення відмовостійкості ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак.

Ключові слова: метод забезпечення відмовостійкості, зловмисне програмне забезпечення, спеціалізовані інформаційні технології, надмірності

M. STETSYUK, A. KASHTALIAN
Khmelnytskyi National University

ABSTRACT MODEL OF INFLUENCE OF MALICIOUS OF SOFTWARE AND METHOD OF ENSURING THE FAILURE RESISTANCE OF SPECIALIZED INFORMATION TECHNOLOGIES

The proposed abstract model of the effects of malicious software (SDR) allows us to consider the objects of the computer system that may be affected by SDR and computer attacks. Therefore, it was used as a basis for a new method of ensuring the resilience of specialized IT in the face of SDR and computer attacks.

As a result, the application of the developed method is carried out in a system that has mechanisms for restructuring and uses redundancies. A feature of the main steps of the developed method according to the parametric control of program file integrity is the possibility of its application to a group of program files that do not have a fixed checksum and thus it expands the possibilities of the known method of detecting. Compared with the known application of this method, in previous work, this method could not be used to control the integrity of a certain group of executable files that have a heterogeneous internal structure. This group includes files of type mde, which are obtained when compiling programs written in MS Access. Their feature is the fact that they have a complex internal structure, which includes, in addition to program code, structures that are elements of the database, such as tables, indexes, relational database schema and others. This step of the method is designed for application in IP with increased fault tolerance and enhanced protection against RAM and computer attacks, namely in the second, local security loop integrated into specialized IT software. This is dictated by the fact that its implementation requires specific information about the parameters of the program file, which is unknown at the system level, but known locally, as it is information obtained in the design and implementation of this part of specialized IT as a whole. Therefore, the scope of the SCR detection method based on checksum calculation for files with volatile checksums as a step of the IT fault tolerance method has been expanded.

As a result, the application of the developed method is carried out in a system that has mechanisms for rebuilding and uses redundancies. To study the developed method, a method of evaluating its effectiveness in terms of redundancy and redundancy has been developed. Experimental studies and evaluation calculations confirm the effectiveness of the developed method of ensuring the resilience of IT in the face of SDR and computer attacks.

Keywords: fault tolerance method, malicious software, specialized information technologies, redundancies

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проведений аналіз розвитку і поширення зловмисного програмного забезпечення та різноманітності в проведенні комп'ютерних атак підтверджує, що проблема протидії зловмисному програмному

забезпеченню та комп'ютерним атакам буде залишатись актуальною і, її актуальність, буде тільки зростати по мірі становлення інформаційного суспільства, базованого на використанні комп'ютерних інформаційних систем. Вирішування цієї проблеми є безперервним процесом, успішність якого в уникненні загроз, які створює зловмисне ПЗ та комп'ютерні атаки, можлива за умови використання наукових підходів, в основі яких використовуються моделі загроз лежать та методи, розроблені на їх основі. Вони, як правило, є локальними і, не охоплюють весь спектр загроз, які створює зловмисне ПЗ функціонуванню комп'ютерної системи. Крім великого спектру напрямків для зловмисників в комп'ютерних системах, важливим напрямом для них є інформаційні системи. Як правило, вони на сьогодні є переважно розподіленими. Тому, їх проектування має враховувати особливості функціонування при виконанні поставлених на них задач, які можуть виконуватись при впливах зловмисного програмного забезпечення та комп'ютерних атаках. В зв'язку з цим необхідним науковим завданням є розробка спеціалізованих ІТ, в яких будуть закладені можливості протидії зловмисним проявам, що дасть змогу розробляти на їх основі стійкі до таких впливів інформаційні системи.

Аналіз досліджень та публікацій

Розглянемо відомі наукові рішення щодо забезпечення відмовостійкості в інформаційних технологіях.

В роботах [1, 2] розглянуто проблему забезпечення та підвищення надійності багатofункційної інформаційної системи, внаслідок виникнення загроз втрати або спотворення інформації, що обробляється у системі. Проведено аналіз існуючих підходів та методів забезпечення та підвищення надійності, складовою частиною якої є показники відмовостійкості та живучості комплексів програмних та технічних засобів. Обґрунтована необхідність використання методів підвищення надійності, основним з яких, автор вважає метод застосування структурної надмірності, а всі інші методи підвищення надійності можуть використовуватись як додаткові до основного.

В роботі [3] розглядаються методи високої відмовостійкості такого програмного компонента як SQL-сервер та методи її досягнення, такі як відмовостійка кластеризація; переміщення журналів (log shipping) - технологія, яка полягає в автоматизації резервного копіювання БД та її відновлення на іншому сервері.

В роботі [4] розглянута нетривіальна наукова задача самовідновлення та самоорганізації функцій кібернетичних систем, яка є фундаментальною в забезпеченні відмовостійкості та живучості ІС. Придільена увага теорії маскуванню та надлишковості компонент яка узагальнена W.H. Pierce у концепцію стійкості до відмов (the concept of failure tolerance) або відмовостійкості. Розглянута концепція програмної відмовостійкості, одним із ефективних методів якої є методом N – версійного програмування, що став фундаментальним для досягнення відмовостійкості в цілому.

В роботі [5] відмічається, що на сьогодні існують два типи підходів до забезпечення відмовостійкості під час роботи – архітектурний та алгоритмічний. Архітектурні, будучи алгоритмічно незалежними, можуть базуватись на ручних методах реконфігурації масиву елементів системи, відновлюючи у такий спосіб роботоздатність системи. Інший підхід полягає у маскуванні відмов шляхом негайного відновлення працездатності системи, при якому виникнення відмови не помічається. Цей спосіб ефективний для досягнення динамічної відмовостійкості і може бути реалізований за допомогою триразової апаратурної надмірності або N-кратної надмірності. Алгоритмічні підходи використовують властивості алгебри для цифрової обробки даних. Прикладом є забезпечення відмовостійкості на основі надлишкового кодування даних, що дозволяє відновити правильний результат при несправному елементі системи. Ще один підхід полягає в перебудові структури масиву елементів системи та їх алгоритмів так, щоб завдання було виконане на масиві меншого розміру. Цей підхід дозволяє будувати обчислювальні структури з амортизацією відмов.

В роботі [6] запропонована методика для порівняльної оцінки інформаційних мереж, щодо їх стійкості до відмов. Для досягнення технічного результату враховуються динаміка впливів на вузли мережі випадкових і навмисних перешкод, і навіть можливості відновлення зв'язку між транзитними вузлами. Для цього обчислюють значення показників доступності вузлів інформаційних мереж, час досягнення критичного співвідношення "небезпечних" та "безпечних" вузлів для кожного варіанта підключення абонентів, а також зв'язність суміжних "небезпечних" вузлів, що утворюють ланцюжки, що унеможливають обмін між абонентами.

В роботі [7] пропонується спосіб, як на базі декомпозиційного підходу отримати модель проектування технічних систем, які дозволяють об'єднати окремі показники надійності і безпеки у функцію живучості. Запропоновані сценарії одночасного проектування системи на основі критеріїв ефективності в номінальних і неномінальних режимах. Запропонована інформаційна технологія конструювання моделей дозволяє раціонально упорядковувати проектні варіанти технічних систем. Розроблені імітаційні моделі функцій живучості, що дозволяють будувати ці функції як за статистичними даними, так і за даними імітаційного моделювання і використовувати методи теорії імовірності і нечіткості в проектному аналізі. Показано, що існуючу множину показників живучості можна подати як інтервали на шкалі вартості наслідків відмов.

В роботі [8] розглядаються методи забезпечення надійності інформаційно-автоматизованих систем на основі експертних оцінок. Розробка нової інформаційно-автоматизованої системи зазвичай

супроводжується труднощами в ризиках. Процес виявлення та пом'якшення ризиків є одним із важливих напрямків розвитку програмної системи. Методи в пропонованій статті ґрунтуються на оцінці та пом'якшенні ризиків. Застосовується для підвищення надійності та відмовостійкості інформаційно-автоматизованих систем. Ризики інформаційних та автоматизованих систем дуже важливі, оскільки збій у системі може призвести до значних фінансових втрат, а іноді і до великих втрат життя тощо. Методи можуть бути використані для раннього проєктування розробки програмного забезпечення та визначають найбільше ефективні стратегії пом'якшення виявлених ризиків.

В роботі [9] приводиться вичерпний огляд методів відмовостійкості для високопродуктивних обчислень. Акцент робиться на аналітичних моделях ефективності. Приводиться огляд методів загального призначення, включаючи кілька протоколів відновлення контрольних точок і відкату. Досліджуються різні джерела помилок і несправностей у великих системах; розглядається набір методів, які можна застосувати для розробки відмовостійкого програмного забезпечення, а саме: метод прогнозування, який передбачає наявність механізму, який попереджає користувача про майбутні несправності в системі; метод реплікації, який полягає в дублюванні всіх обчислень.

Загалом, автори бачать шлях до забезпечення відмовостійкості ПЗ у введенні інформаційної надлишковості у дані та її підтримки під час обчислень. Крім того, в роботах [10]-[14] представлено відомі впливи зловмисного програмного забезпечення (ЗПЗ) та комп'ютерних атак на об'єкти комп'ютерних систем.

Враховуючи, що наукова задача забезпечення відмовостійкості спеціалізованих інформаційних технологій саме в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак не розв'язана, тому вона є актуальною.

Виклад основного матеріалу

Абстрактна модель впливу зловмисного програмного забезпечення на об'єкти комп'ютерних систем

Для забезпечення стійкості ІС до впливів зловмисного програмного забезпечення та комп'ютерних атак в процесі їх функціонування, синтезуємо в ІТ сумісно з спеціалізованим функціоналом її призначення, також складові елементи, призначення яких полягатиме у підтримці працездатності ІС з виконання спеціалізованого функціоналу для виконання основного завдання в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак. Задамо складові елементи спеціалізованої ІТ M_{IT} так:

$$M_{IT} = \{F_0, F_1, F_2, \dots, F_{N_{IT}}, A_{IT}\}, \quad (1)$$

де F_0 – функціонал основного завдання ІТ і обов'язково присутній в M_{IT} ; F_i – i – тий складовий елемент в ІТ, що забезпечує додатковий функціонал; $i=1, 2, \dots, N_{IT}$; N_{IT} – кількість додаткових складових в ІТ; A_{IT} – складовий елемент в ІТ, що активізує елементи $F_1, F_2, \dots, F_{N_{IT}}$ в ІТ за настання певних подій чи запитів від елементу F_0 і він не містить додаткового функціоналу для виконання інших дій.

Оскільки сучасні ІС можуть мати різні архітектури, що впливатиме і на проєктування ІТ, а також вони переважно є розподіленими, то представлені в формулі 1 її складові елементи вважатимемо такими, що об'єднують відповідно в своїх елементах всі складові, які розміщені в різних комп'ютерних станціях, але мають складову, що відноситься до складової певної типу. Зокрема, при такому представленні матимемо такі співвідношення:

$$M_{IT} = \left\{ \begin{array}{l} F_0 | F_0 = \sum_{i=1}^{N_{IT}} F_{0,i} \\ F_1 | F_1 = \sum_{i=1}^{N_{IT}} F_{1,i} \\ \dots \\ F_{N_{IT}} | F_{N_{IT}} = \sum_{i=1}^{N_{IT}} F_{N_{IT},i} \\ A_{IT} | A_{IT} = \sum_{i=1}^{N_{IT}} A_{IT,i} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де – функціонал основного завдання ІТ в i – й комп'ютерній станції і обов'язково присутній в M_{IT} ; $i=1, 2, \dots, N_{ks}$; N_{ks} – кількість комп'ютерних станцій, в яких встановлено компоненти ІС; $F_{j,i}$ – j – тий складовий елемент в ІТ в i – й комп'ютерній станції, що забезпечує додатковий функціонал; $j=1, 2, \dots, N_{IT}$; N_{IT}, i – кількість додаткових складових в ІТ; $A_{IT,i}$ – складовий елемент в ІТ в i – й

комп'ютерній станції, що активізує елементи $F_{1,i}, F_{2,i}, \dots, F_{N_{IT},i}$ в ІТ за настання певних подій чи запитів від елементу $F_{0,i}$ і він не містить додаткового функціоналу для виконання інших дій.

Не в усіх компонентах ІС, які розміщені в комп'ютерних станціях, можуть бути розміщені всі складові елементи $F_{j,i}$, де $i = 1, 2, \dots, N_{ks}$; N_{ks} – кількість комп'ютерних станцій, в яких встановлено компоненти ІС; $j = 1, 2, \dots, N_{IT}$. Також, в різних комп'ютерних станціях можуть бути різні складові елементи, які відносяться до одного і того ж типу. Зокрема, ці складові можуть відрізнитись для сервера та компоненти в комп'ютерній станції. Але більшість складових елементів одного типу в різних компонентах комп'ютерних станцій може бути однаковою. Це крім спрощення розробки спеціалізованої ІТ дає змогу синхронізувати, також, засоби підтримки стійкості ІС при впливах зловмисного програмного забезпечення чи комп'ютерних атак за рахунок координації і взаємодії між ними напряму чи із залученням серверної частини ІС.

Це демонструє можливість до масштабування компонентів спеціалізованих ІТ між різними комп'ютерними станціями в мережах та можливість до виконання завдання в межах однієї комп'ютерної станції.

Таким чином, спеціалізована ІТ M_{IT} представлена множиною (формула 2.) дає можливість врахувати різні архітектури при проєктуванні ІТ та різні наповнення функціоналом окремих її складових елементів, що узагальнює спеціалізовану ІТ через її таку архітектуру для використання в подальших дослідженнях щодо впливу на неї чи її компоненти в комп'ютерних станціях зі сторони ЗПЗ та комп'ютерних атак.

До складових елементів в ІТ синтезуватимемо такі: відмовостійкість, живучість, захист інформації. Ці складові елементи реалізуватимемо як окремі завершені модулі, але з можливістю активації в умовах сигналізації про впливи та потреб, які вимагатиме функціонал основного завдання. Тобто при $N_{IT} = 3$, тоді узагальнена структура спеціалізованої ІТ матиме представлення зображене на рис. 1.

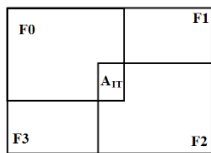


Рис. 1 – Узагальнена структура спеціалізованої ІТ з елементами

Розглянемо представлення можливих впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак на ІС в комп'ютерних мережах. Дослідження таких впливів важливо на всіх етапах функціонування ІС та в усіх комп'ютерних станціях в цілому і окремо. Впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак на комп'ютерні станції в мережі можуть бути спрямовані на їх різні об'єкти, як апаратні, апаратно-програмні так і на програмні. Причому, ці впливи можуть багатоступінні та одноетапні, віддалені, безпосередньо неспрямовані на об'єкт та опосередковано.

Вони можуть реалізовуватись різноманітними засобами, які можуть бути звичайними засобами для роботи в мережі та комп'ютерних системах, а також спеціально створеними зловмисниками засобами. Все це урізноманітнення засобів для проведення зловмисних впливів не тільки ускладнює процес виявлення ЗПЗ та комп'ютерних атак спеціальними антивірусними засобами, але й ускладнює класифікацію саме зловмисних дій. На сьогодні для здійснення точної класифікації зловмисних впливів є невелике ознакове поле характеристик, тому спеціальні антивірусні засоби не забезпечують повного виявлення. Залишається множина ЗПЗ та комп'ютерних атак, які проникають через ці спеціальні антивірусні засоби. Тому, незважаючи на різноманітність ЗПЗ та комп'ютерних атак, не досліджуючи саме їх особливості та відображаючи їх у базах зловмисних програм та атак, що здійснюється в реалізаціях спеціальних антивірусних засобів, доцільним є дослідження можливих їх варіантів зловмисних впливів на конкретні об'єкти комп'ютерних систем. Тобто, побудова можливих впливів саме через формування множини таких впливів щодо конкретних об'єктів в комп'ютерних системах дасть змогу сформувати обмежену множину зловмисних впливів, кожен з елементів якої буде пов'язаний з певним об'єктом комп'ютерної системи, а також, наприклад, з певними елементами ІС, етапами її функціонування, включаючи початок роботи та завершення, зокрема і її різних компонент. В зв'язку з таким співвіднесенням впливів до об'єктів комп'ютерних систем з врахуванням їх часу функціонування, отримуємо зв'язки конкретних об'єктів в часі з можливими впливами на них. Крім того, впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак можуть бути руйнуючими і неруйнуючими. Неруйнуючі впливи можуть поділятися на такі, що не досягли своєї мети і, тому, процеси, які створені ними функціонують сумісно чи паралельно з процесами створеними заданими користувачем чи комп'ютерною системою і такі, що націлені на інші об'єкти в комп'ютерній системі, тобто на об'єкти від заданої ІС і ресурсів, необхідних для її функціонування. Частина неруйнуючих вплив в певні моменти в майбутньому може перейти до категорії руйнуючих. Руйнуючі впливи можуть бути спрямовані на ІС, в яку будуть імплементовані механізми протидії, або на інші об'єкти комп'ютерної системи, які не пов'язані з ІС та ресурсами для її функціонування. Крім того, такі впливи можуть досягати як часткової мети в певний момент часу, так і в подальшому результуючої мети з виведення з ладу комп'ютерної станції, вузла мережі, призупинки або знищення процесів, знищення інформації на жорсткому диску тощо.

Задамо впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак множиною M_{VP} так:

$$M_{VP} = M_{VP,r} \cdot M_{VP,nr}, \tag{3}$$

де $M_{VP,r}$ – множина руйнуючих впливів; $M_{VP,nr}$ – множина неруйнуючих впливів.

Віднесення впливів до підмножин множини M_{VP} залежить від поточного моменту часу і може змінюватись. Задамо підмножини впливів переліком їх елементів так:

$$M_{VP,r} = \{m_{VP,r,1}, \dots, m_{VP,r,n_{VP,r}}\}, M_{VP,nr} = \{m_{VP,nr,1}, \dots, m_{VP,nr,n_{VP,nr}}\}, \quad (4)$$

де $m_{VP,r,i}$ – елемент множини $M_{VP,r}$, який означає i -тий руйнуючий вплив в певний момент часу; $i = 1, 2, \dots, n_{VP,r}$; $n_{VP,r}$ – загальна кількість руйнуючих впливів; $m_{VP,nr,j}$ – елемент множини $M_{VP,nr}$, який означає j -тий неруйнуючий вплив в певний момент часу; $j = 1, 2, \dots, n_{VP,nr}$; $n_{VP,nr}$ – загальна кількість неруйнуючих впливів.

Частина неруйнуючих впливів множини $M_{VP,nr}$ в процесі свого здійснення може не зашкодити об'єктам комп'ютерної станції. Це може відбутись через заданих в них змістовність функціоналів так і через недосконалість функціоналів в певному середовищі комп'ютерної станції. Інша частина неруйнуючих впливів в певний момент часу може перейти до руйнуючих. Такий розгляд впливів в динаміці є необхідним для побудови моделі впливів у співвіднесенні з об'єктами комп'ютерної станції, які динамічно змінюються.

Спрямування впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак може бути здійснене на ІС, для якої проектується механізми забезпечення стійкості при впливах і яка задана множиною M_{IT} , та ресурси, які забезпечують її функціонування. Також, спрямування впливів може бути здійснене на об'єкти комп'ютерної станції, які не пов'язані з ІС і вплив на них не впливатиме на функціонування ІС. Тому, розглядатимемо, як можливі варіанти, два типи таких впливів. Оскільки впливи динамічно можуть змінюватись з неруйнуючих в руйнуючі, то задамо множини M_{VP} переліком її елементів так:

$$M_{VP} = \{m_{VP,1}, \dots, m_{VP,n_{VP}}\}, \quad (5)$$

де $m_{VP,i}$ – елемент множини M_{VP} , який означає i -тий вплив в певний момент часу; $i = 1, 2, \dots, n_{VP}$; n_{VP} – загальна кількість впливів.

Результатом впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак на об'єкти комп'ютерних систем будуть наслідки, множини яких задамо так:

$$M_r = \{m_{r,1}, \dots, m_{r,n_r}\}, \quad (6)$$

де $m_{r,i}$ – елемент множини M_r , який означає i -тий наслідок впливу в певний момент часу; $i = 1, 2, \dots, n_r$; n_r – загальна кількість наслідків впливів.

Якщо впливи ЗПЗ та комп'ютерні атаки пов'язати з об'єктами комп'ютерних систем, на які вони спрямовані, і результатом таких взаємодій будуть наслідки, то ці наслідки представимо так:

$$M_r = \begin{pmatrix} m_{r,1,1} & \dots & m_{r,1,N_{VP}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{r,N_{IT},1} & \dots & m_{r,N_{IT},N_{VP}} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

де $m_{r,i,j}$ – елемент множини наслідків впливів на об'єкти комп'ютерних систем; $i = 1, 2, \dots, N_{VP}$; $j = 1, 2, \dots, N_{IT}$.

Введемо для множини об'єктів комп'ютерної системи та впливів ЗПЗ і комп'ютерних атак алгебраїчну структуру так:

$$\Omega = \Omega_{ks}, \Omega_{VP}, \Omega_{RVP}, \quad (8)$$

де Ω_{ks} – множина об'єктів комп'ютерної системи, на які можуть бути здійснені впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак; Ω_{VP} – множина функцій, які реалізують впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак; Ω_{RVP} – множина предикатів заданих на множині Ω_{ks} , які відображають успішність/неуспішність при реалізації функцій з множини Ω_{VP} ; $\alpha = 1$, $\beta = 1$ – арності операцій, тому тип системи $\tau = (1, 1)$.

В якості елементів множини Ω_{ks} об'єктів комп'ютерної системи розглядатимемо всі об'єкти файлової системи, завантажувального сектору диску, оперативної пам'яті, мережні пакети, які можуть бути об'єктами впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак. Елементами множини Ω_{VP} є одиничні елементи, які містять єдиний функціонал, реалізація якого надає змогу здійснювати зловмисний вплив ЗПЗ та комп'ютерних атак на конкретний єдиний об'єкт комп'ютерної системи та їх комбінації. Для досягнення результату щодо впливу одиничний елемент з множини Ω_{VP} може залучати деякі з інших об'єктів комп'ютерної системи, тобто здійснювати опосередкований вплив, але вплив все-рівно спрямований на один об'єкт. Тоді, комбінація таких елементів формуватиме решту елементів цієї множини Ω_{VP} . Такі елементи множини Ω_{VP} є породжуючими для решти різних елементів цієї множини. Функції з множини Ω_{VP} успішно реалізовуватимуть впливи не завжди, тому для представимо впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак множиною предикатів Ω_{RVP} . Вона відображатиме результат успішного / неуспішного впливу ЗПЗ та комп'ютерних атак на об'єкти комп'ютерних систем. Предикати, які належать множині Ω_{RVP} визначимо так, що вони будуть істинними, якщо результат здійснення зловмисних впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак на об'єкт чи об'єкти

комп'ютерної системи буде успішним, тобто функція з множини Ω_{VP} виконається. Інакше, результат предикату буде хибним.

Тоді, перейдемо з формули (8) до абстрактно моделі, яку задамо так:

$$\mathcal{R} = \Omega_{ks}, \Omega_{RVP}, \quad (9)$$

де Ω_{ks} – множина об'єктів комп'ютерної системи, на які можуть бути здійснені впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак; Ω_{RVP} – множина предикатів заданих на множині Ω_{ks} , які відображають успішність / неуспішність при реалізації функцій з множини Ω_{VP} ; $\alpha = 1$, $\beta = 1$ – арності операцій, тому тип системи $\tau = (1, 1)$.

Якщо впливи ЗПЗ та комп'ютерних атак будуть успішними, тоді вони матимуть наслідки, тобто відноситимуться до множини M_r , яку задано за формулою (6). В результаті функція відображення елементів множини впливів M_{VP} в множини наслідків M_r :

$$\Omega_{RVP} : M_{VP} \xrightarrow{\Omega_{VP}} M_{RVP}. \quad (10)$$

Результатом такого представлення є абстрактна модель і множина функцій, які надають можливість представити процеси, які здійснюються в комп'ютерних системах при функціонування ІС та можливих впливів ЗПЗ і комп'ютерних атак на об'єкти комп'ютерних систем. Вона поєднує такі складові, як об'єкти комп'ютерних систем, зокрема і компоненти та елементи ІС, впливи на об'єкти та наслідки впливів. Таким чином, отримана абстрактна модель надає змогу деталізувати об'єкти для впливів і можливі наслідки, що стає основою для розробки методів, які забезпечуватимуть відмовостійкість, живучість ІС та захист інформації в ІС від таких впливів. Абстрактна модель є основою для створення спеціалізованої ІТ, стійке функціонування якої можливе в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак. Також, ця модель може включати особливості, яка полягатиме в розподіленні об'єктів комп'ютерних систем в комп'ютерній мережі та компонентів спеціалізованої ІТ.

Метод забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ

При забезпеченні відмовостійкості спеціалізованої ІТ механізмами, які унеможливуватимуть вплив ЗПЗ та комп'ютерних атак розглядатимемо компоненти ІТ як такі, що поділяються на серверні та клієнтські. Якщо ж серверні частини ІТ відсутні, то результати будуть використані і для клієнтських, які розглядатимуться як такі, що можуть мати частину можливостей серверних частин. Компоненти спеціалізованої ІТ містять програмну частину та вимагають певних апаратно-програмних засобів для свого функціонування, тому розгляд впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак потрібно враховувати до цих двох складових. Згідно даних з матриці спряження (формула (7) впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак з об'єктами комп'ютерних систем, на які вони спрямовані, і результатом таких взаємодій будуть наслідки. Тоді, необхідно розробити метод забезпечення відмовостійкості ІТ, який би унеможливив успішне виконання відображення згідно формули (10), тобто наявність елементів в матриці спряження (формула (7)), або зменшила б їх кількість чи вірогідність появи. Таким чином, була б забезпечена відмовостійкість ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак. З врахуванням необхідності інтеграції механізмів протидії ЗПЗ та комп'ютерним атакам, які можуть бути застосовні однаково до змістовних елементів з матриці спряження (формула (7), представимо метод забезпечення відмовостійкості ІТ основними кроками, які відноситимуться як до клієнтської частини, так і до серверної частин.

Розглянемо перший крок методу забезпечення відмовостійкості ІТ, суть якого полягатиме у використанні блокових міток. клієнтської частини ІС при реалізації. Стосовно прикладного програмного забезпечення, до якого відносяться клієнтські автоматизовані робочі місця (АРМ), то критичні помилки, які можуть проявитись в ході експлуатації робочих місць ІС, фіксуються разом із своїми параметрами в реєстрі системи в автоматичний спосіб і, в подальшому використовується для аналізу з метою усунення причин, що їх викликали. Це стало можливим завдяки стратегії, яка базована на привнесенні деякої надмірності в програмне забезпечення АРМ ІС, по аналогії із методами забезпечення відмовостійкості апаратної частини ІС. З цією метою всі розрахункові процедури, які гіпотетично, можуть містити критичні для функціонування АРМ помилки, розробляються із дотриманням певного однотипного шаблону побудови алгоритмів їх виконання. Суть цього першого кроку методу, в подальшому кроку згідно блокових міток, відображена на рис. 2.

В структурі етапів першого кроку методу алгоритм виконання будь-якої нетривіальної процедури розділяється на два взаємодіючих блоки. В першому блоці реалізується функція процедури ІС, а в другому обробник помилок. В процесі виконання деякої процедури, яка реалізує одну із функцій АРМ ІС, обидва блоки взаємодіють між собою, передаючи управління обчислювальним процесом один одному, поки виконувана функція не завершиться.

Суть першого кроку методу згідно блокових міток полягає в тому, що алгоритм, який реалізує функцію ІС, розділяється маркерами (мітка 1, ..., мітка n на рис. 2) на фрагменти за принципом функціональної завершеності.

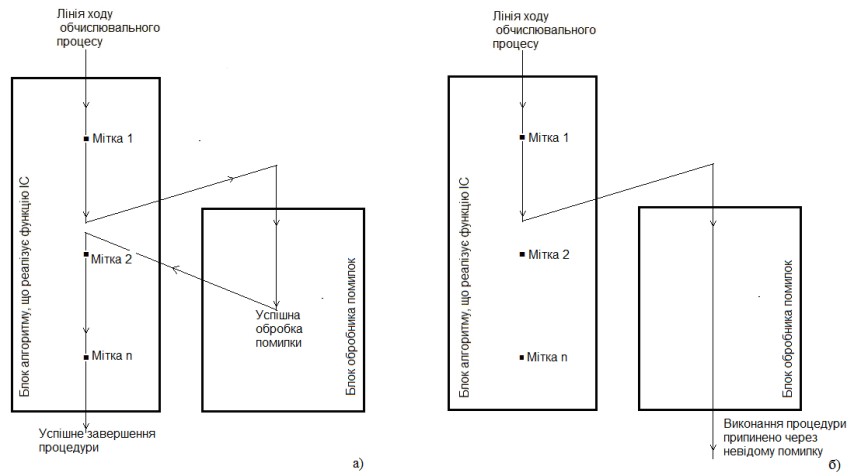


Рис. 2 – Етапи першого кроку методу реалізації відмовостійкої процедури. а) для випадку успішного завершення процедури після виникнення помилки; б) для випадку, коли помилка невідома для обробника помилок

Перед початком виконання поточного фрагменту алгоритму в реєстр фатальних помилок заноситься інформація про гіпотетично можливу помилку (код екземпляра АРМ, код функції, № мітки, час і т. і.). В подальшому можливі наступні варіанти розвитку подій:

1. Фрагмент алгоритму функції успішно виконався. В цьому випадку інформація в реєстрі про помилку, що не сталась, знищується, а обчислювальний процес переходить до виконання наступного фрагмента.
2. В процесі виконання фрагменту сталась помилка, але вона успішно локалізована обробником помилок (рис. 2а). В цьому випадку інформація про помилку також може бути видалена з реєстру.
3. В процесі виконання фрагмента сталась помилка, яка не була локалізована обробником помилок (рис. 2б). В цьому випадку інформація про можливу помилку залишиться в реєстрі.

Таким чином, запропонований перший крок методу згідно блокових міток дозволяє типовим чином вирішувати задачу забезпечення відмовостійкості для всієї множини функцій клієнтської частини ІС.

Другий крок методу забезпечення відмовостійкості ІТ полягає у використанні функціонального резервування. Наступним із значимих внутрішніх факторів, що негативно впливають на відмовостійкість є перевантаження апаратної платформи клієнтського ПК задачами, що може різко погіршити часові параметри виконуваних АРМ завдань, або навіть зробити неможливою його роботу, через вичерпання технічних ресурсів. Щоб нейтралізувати дію цього фактора на ІС, при розробці програмного забезпечення, а саме тієї його частини, яка відповідальна за реалізацію "бізнес-логіки" використано функціональне резервування (рис. 3). Наявність функціонального резерву "важких" розрахункових функцій дозволяє здійснювати маневр обчислювальними потужностями апаратної платформи ІС, в разі перевантаження окремих її ланок, підвищуючи таким чином відмовостійкість ІС. Оскільки процедура, яка функціонально резервується (наприклад Funk1 на рис. 3) розробляється в двох варіантах за одним і тим же алгоритмом, але в різних програмних середовищах, то для виконання на різних технічних засобах цей факт можна використати для нейтралізації такого негативного фактора, як наявність помилки в прикладному програмному забезпеченні АРМ, у випадку, коли в одному із варіантів процедури проявиться помилка. В цьому проявляється позитивна мультиплікативність ефекту функціонального резервування, що підвищує загальну відмовостійкість ІТ.

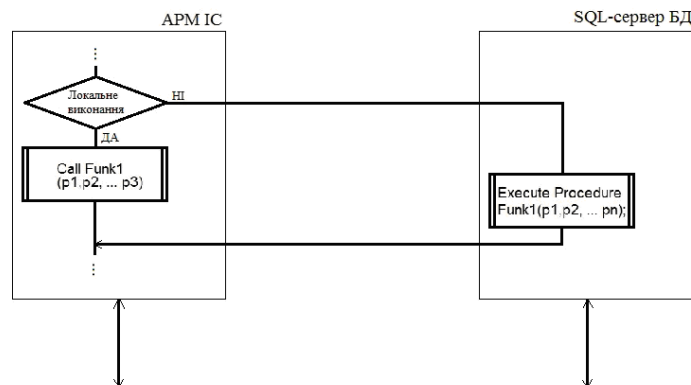


Рис. 3 - Модель застосування функціонального резервування розрахункових функцій ІС в середовищі клієнт-серверної архітектури

Третій крок методу забезпечення відмовостійкості ІТ полягає у перехресному резервуванні. Вирішення задачі, як завжди в таких випадках, полягає в створенні деякого резерву. Аналіз роботи АРМ ІС показав, що деякі із них мають резерв часу та надлишковість продуктивності роботи. Тому, природним було

рішення використовувати цей резерв в критичні моменти в роботі клієнтської частини ІС. В якості резерву тут слугує будь який інший, клієнтський ПК (рис. 4), який згідно плану подолання критичної ситуації, може взяти на себе забезпечення роботи АРМ, чий ПК вийшов з ладу. Такий підхід дозволяє не тримати в якості резерву окремих ПК, а також мати запаси комплектуючих, що зменшує експлуатаційні витрати, без втрати показників відмовостійкості системи в цілому.

Як правило, модулі програмного забезпечення, в налаштованому вигляді, зберігаються в репозитарії програмного забезпечення ІС та на тих клієнтських ПК, де вони плануються бути використаними в критичні моменти згідно плану резервування. У випадку виходу з ладу критичного обладнання комп'ютера, яке зробить неможливим виконання АРМ своїх функцій, воно переноситься на підходящий інший комп'ютер. Витрати часу на реконфігурацію клієнтської частини обчислюються хвилинами, що є прийнятною величиною для забезпечення живучості ІС, які виконують інформаційне забезпечення, наприклад, в такій предметній прикладній області, як фінансово-господарська діяльність ЗВО.

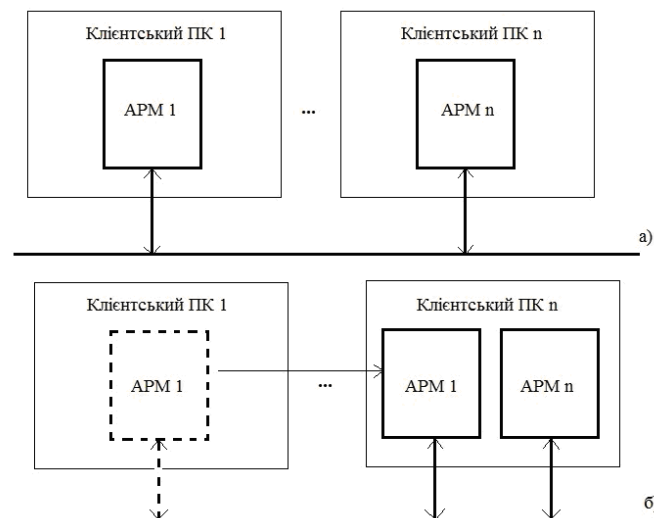


Рис. 4 - Приклад структурного взаєморезервування клієнтської частини ІС. а) ІС до виходу з ладу клієнтського ПК1; б) ІС після реконфігурації системи в результаті виходу з ладу ПК1.

Така реконфігурація клієнтської частини стала можливою завдяки тому, що на клієнтських комп'ютерах, на яких виконується програмне забезпечення АРМ не зберігаються абсолютно жодні дані. При цьому, сам програмний модуль АРМ, для зручності, скомпонований в один файл і не потребує процедури інсталяції. Її достатньо скопіювати на інший комп'ютер. Після чого вона буде готовою до роботи. Такий підхід, дозволяє навіть після виходу з ладу кількох ПК, що само по собі має низьку вірогідність, зберегти повну функціональність ІС.

Є лише одне обмеження – кожен екземпляр програмного забезпечення АРМ попередньо повинен бути зареєстрований в ІС. Інакше, спроба запуску такої програми буде розглядатись як спроба несанкціонованого доступу до системи, навіть при правильних реєстраційних даних користувача. Контроль ІС за всіма екземплярами своїх АРМ дозволяє блокувати спроби зловмисників, яким вдалось оволодіти даними аккаунта користувача, отримати доступ до системи.

При цьому програма якою оволодів зловмисник, не отримує доступу до даних ІС, а сам факт спроби такої програми підключитись до системи фіксується в реєстрі фатальних помилок з відповідними даними, що дозволяє з їх використанням вжити організаційних заходів проти зловмисника.

Четвертий крок методу забезпечення відмовостійкості ІТ орієнтований на застосування в серверній частині і, тому, в клієнтській частині переважно не буде застосовний, крім випадків поєднання задач і особливостей обох частин ІС.

Неможливо реалізувати спеціалізовану ІТ, що представляє собою ІС з БД з достатньо високими параметрами відмовостійкості, якщо вона не буде опиратись на реалізацію своєї серверної частини з достатнім рівнем резервування. З рис. 5 видно, як пропонується вирішення задачі підвищення відмовостійкості ІС, шляхом структурного резервування основних її компонентів, а саме її серверної частини. У випадку виходу з ладу основного сервера ІС, його функції може взяти на себе резервний, який має абсолютно однакові налаштування з основним.

При цьому основний та резервний сервери мають бути рознесені територіально і повинні жити з різних ліній. Оскільки вихід з ладу зразу двох серверів є подія маловірогідна, то тим самим забезпечується висока відмовостійкість серверної частини АІС. Реконфігурація реальної системи, незважаючи на ручний режим перемикання, виконується за прийнятний відрізок часу для ІС, яка працює в ірреальному часі. Оскільки дзеркальна копія БД підтримується в актуальному стані службою реплікацій, то перемикання основної бази даних на БД - копію виконується за звичай без втрат інформації. Але незначна втрата інформації при такій схемі все ж можлива. Це може трапитись при відмові деяких чутливих компонентів апаратної платформи сервера. Як правило, це останні запущені транзакції, виконання яких буде припинене

через відмову обладнання. І якщо це транзакції на зміну інформації в базі даних, то в цьому випадку інформація буде втрачена. Але оскільки така подія в життєвому циклі ІС сама по собі рідкісна, то такою можливою кількістю втрати інформації можна знехтувати. Після відновлення роботи серверної частини, операторам АРМ, чії транзакції були втрачені, потрібно повторно виконати останні операції, для відновлення втраченої інформації.

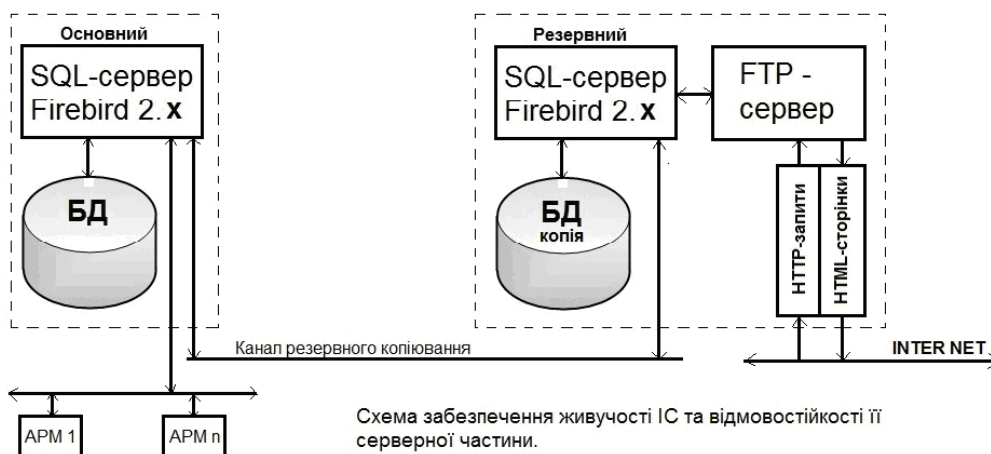


Рис. 5 - Схема структурного резервування серверної частини ІС

Значно зменшити вірогідність втрати інформації можна, якщо робота серверної частини ІС буде знаходитись під постійним контролем. Для цього організується регулярне діагностування критичного обладнання сервера. Такий підхід дозволить виявляти назриваючу відмову і вчасно замінювати відповідний компонент, ще до виходу його із ладу. Наприклад, це може стосуватись дисккових накопичувачів, якість дисккових поверхонь котрих є надзвичайно критичними для функціонування всієї ІС. Така організація роботи дозволяє зменшити вірогідність виходу з ладу серверної частини ІС і тим самим призвести до збереження інформації.

Згідно з рис. 5 резервний сервер, окрім виконання функції резервування основного сервера, слугує джерелом даних для WEB-сервера, через який ІС видає інформацію для своїх віддалених користувачів. Такий крок методу згідно резервування серверної частини гарантує достатню високий рівень відмовостійкості в цілому.

Розроблений метод передбачає можливість самостійної перебудови ІС в процесі функціонування із залученням при цьому апаратно-програмних засобів. В процесі перебудови ІС виконання заданих функцій продовжується. Таким чином, метод забезпечення відмовостійкості ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак надає змогу розширити можливості ІС в частині її адаптивності і відповідно автоматичної зміни апаратно-програмної конфігурації. Крім того, в кроках розробеного методу інтегровано два способи забезпечення відмовостійкості ІТ: залучення резервування; залучення надмірностей. Ця інтеграція поєднана з адаптивністю ІС.

Експериментальні дослідження та оцінювання ефективності методу забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ

Встановлення можливості застосування методу забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак здійснено проведенням відповідних експериментальних досліджень та здійсненням оцінювання його ефективності. Оцінювання ефективності методу забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак здійснено за критеріями, що відповідатимуть залученим в нього показників і відповідно функційних можливостей. Зокрема, такими досліджуваними показниками є такі: надмірності; автоматична зміна апаратно-програмного конфігурування ІС.

Здійснено оцінювання впливу різних надмірностей на забезпечення відмовостійкості ІТ розробленим методом. Задамо множину надмірностей так:

$$M_{nd} = \{m_{nd,1}, \dots, m_{nd,p}\}, \quad (11)$$

де $m_{nd,i}$ - i - та надмірність у спеціалізованій ІТ; p - кількість розглядуваних надмірностей, які можуть бути реалізовані в ІТ.

Вважатимемо, що в структурі спеціалізованої ІТ, враховуючи особливості її застосування в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак, будуть такі надмірності: $m_{nd,1}$ - структурна; $m_{nd,2}$ - часова; $m_{nd,3}$ - інформаційна; $m_{nd,4}$ - функціональна; $m_{nd,5}$ - алгоритмічна; $m_{nd,6}$ - програмна; $m_{nd,7}$ - апаратна; $m_{nd,8}$ - багаторівнева. Задамо їх внесок в спеціалізовану ІТ в залежності від вагових коефіцієнтів:

$$O_{nd} = \alpha_i \cdot m_{nd,i}, \tag{12}$$

де α_i – коефіцієнт ваги внеску надмірності в забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ; $m_{nd,i}$ - i -та надмірність; $i = 1, \dots, p$; p – кількість надмірностей.

Тоді, унормуємо величину внеску надмірностей O_{nd} в забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ для встановлення її взаємозв'язку з впливами ЗПЗ і комп'ютерних атак на об'єкти комп'ютерних систем та наслідками так:

$$Q_{nd} = \frac{\sum_{i=1}^p \alpha_i \cdot m_{nd,i}}{\sum_{i=1}^p m_{nd,i}}, \tag{13}$$

де $\sum_{i=1}^p m_{nd,i} = p, \sum_{i=1}^p \alpha_i = 1.$

З формули (13) випливає, що для певних впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак можуть застосовуватись не всі надмірності. І це буде відображатись відповідними величинами коефіцієнтів. Кількість успішно виконаних функцій з множини впливів Ω_{ks} буде зменшуватись при застосуванні надмірностей і залежатиме від кількості задіяних надмірностей, що виражатиметься величиною їх оцінки застосування Q_{nd} . Тому, множина предикатів Ω_{RVP} , заданих на множині Ω_{VP} , які будуть істинними зменшаться. В зв'язку з цим потрібно оцінити елемент матриці спряження (формула (7)) в контексті застосування методу, в якому використано надмірності. Для цього кожен елемент матриці спряження розглядатимемо окремо і так що до нього застосовано метод. А, також, випадок коли метод застосовний до декількох елементів матриці спряження одночасно. В цьому випадку необхідно встановити можливість втрати його ефективності. Для випадку застосування кроку методу з використанням надмірностей до одного елементу матриці спряження введемо функцію ефективності і задамо її в залежності від чинників впливу і протидії так:

$$Q_{m_{r,i}} = \frac{1}{Q_{nd}} \sum_{j=1}^{N_{VP}} Q_{m_{VP,j}}, \tag{14}$$

де $m_{r,i}$ – елемент множини M_r , який означає i -тий наслідок впливів в певний момент часу; $i = 1, 2, \dots, n_r$; n_r – загальна кількість наслідків впливів; $m_{VP,j}$ – елемент множини M_{VP} , який означає i -тий вплив в певний момент часу; $i = 1, 2, \dots, N_{VP}$; N_{VP} – загальна кількість впливів; Q_{nd} - унормована величина внеску надмірностей для протидії впливам; $Q_{m_{r,i}}$ – величина, яка відображає наслідок впливів після протидії впливам надмірностей; $Q_{m_{VP,j}}$ – унормована величина впливів, що реалізовані функціями і виражена відповідними їх оцінками порівняно між всіма функціями впливів.

Впливів може бути декілька або один, або всі наявні. Тому, протидія їм засобами відмовостійкості може знижуватись при одночасному здійсненні широкого спектру різних впливів. Це відображено в формулі (14). Але всі ці впливи чи один вплив зосереджені на один об'єкт комп'ютерної системи в формулі (14). Результатом цієї формули (14) буде наслідок впливів відмінний від наслідку, який отримувався б без залучення надмірностей з першого кроку методу забезпечення відмовостійкості.

Якщо об'єктів комп'ютерної системи декілька і на них будуть зосереджені впливи, тоді це теж понижуватиме результат стійкості до впливів, бо засоби забезпечення відмовостійкості будуть додатково витрачати ресурси комп'ютерної системи. Тоді, результат щодо впливів оцінимо так:

$$\sum_{i=1}^{N_r} Q_{m_{r,i}} = \frac{N_r}{Q_{nd}} \sum_{j=1}^{N_{VP}} Q_{m_{VP,j}} \tag{15}$$

Права частина рівності відображає, що загальна оцінка відмовостійкості в цьому випадку відображає зниження можливості зміни наслідків впливів. Таке оцінювання масштабуємо в межах розподіленої системи і отримує результат для сервера та комп'ютерних станцій, в які встановлено компоненти ІС.

Таким чином, отримані формули (14), (15) дають змогу оцінити вплив надмірностей щодо наслідків впливів для забезпечення відмовостійкості ІТ.

Резервування в спеціалізованій ІТ, яке впливає на забезпечення її відмовостійкості, є частиною заходів з динамічної перебудови системи і могу бути оцінене виходячи із часового використання серверних компонент, часу їх використання.

Експериментальні дослідження щодо перевірки ефективності розробленого методу забезпечення відмовостійкості ІТ проводимо в два етапи. Спочатку досліджуємо ІС без імплементованого в неї методу. Після цього на другому етапі досліджуємо ІС з імплементованим в неї розробленим методом. При

постановці такого експерименту суттєвим аспектом виступають джерела впливів. Можуть бути варіанти, коли ІС буде працювати тривалий час, щоб за тривалий час з певною ймовірністю можливо було отримати впливи, які призведуть до активізації засобів забезпечення відмовостійкості або якщо їх не імплементовано в ІС, тоді фіксації таких впливів. Але тоді вплив на ІС для експериментів для двох таких випадків не буде однаковим, бо він буде реальним і випадковим. Для проведення потрібна тривалість експерименту протягом дуже тривалого часу, наприклад року. Це пов'язано з тим, що аналіз повідомлень про комп'ютерні атаки в межах України дає статистику масованих атак приблизно три на два роки за останні 6-8 років. Для двох експериментів, можна вирішити питання проведення їх послідовно, тоді потрібно два роки, або паралельно експлуатувати дві однакових ІС, в одній з яких наявні засоби забезпечення відмовостійкості, а в іншій відсутні. Крім того, тривалість експериментів можна зменшити, створивши в закритому середовищі кіберполігон і встановити в ньому штучні джерела впливів.

Результати експериментів ІС записує в свій внутрішній формат, який за потреби після проведених експериментів може бути досліджений. На рис.6 (фрагмент файлу збереження результатів подій) зображено фрагменти з результатів роботи двох ІС. В одній ІС не було імплементовано засобів забезпечення відмовостійкості і, тому, результатом стала статистика виведення з ладу компонентів ІС в процесі функціонування в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак. В другій ІС, в яку було імплементовано засоби забезпечення відмовостійкості, результатом стали час впливів, час залучення засобів забезпечення відмовостійкості і тривалість та результативність. В обох випадках дослідження впливів фіксувались саме щодо необхідності забезпечення подій, які викликані внутрішніми нерегламентними роботами.

Logfile001.txt [vk.com]							
NPP	ARM	PVR	KVR	Error	NAMERROR	IP BD	IP ARM
200732	108	02.01.2021 16:10:07	02.01.2021 19:41:47			192.168.168.1	192.168.168.15
200733	40	04.01.2021 8:33:11	04.01.2021 9:02:26			192.168.168.1	192.168.168.10
200734	105	04.01.2021 8:35:43	04.01.2021 11:21:23			192.168.168.1	192.168.168.10
200735	51	04.01.2021 8:37:18	04.01.2021 11:21:26			192.168.168.1	192.168.168.10
200736	208	04.01.2021 8:42:08	04.01.2021 16:57:05			192.168.168.1	192.168.168.9
200737	83	04.01.2021 8:44:09	04.01.2021 8:44:46			192.168.168.1	192.168.168.9
200738	89	04.01.2021 8:48:36	04.01.2021 11:21:21			192.168.168.1	192.168.168.10
200739	69	04.01.2021 8:49:59	04.01.2021 13:45:48			192.168.168.1	192.168.168.9
200740	8	04.01.2021 8:55:38	04.01.2021 13:34:37			192.168.168.1	192.168.168.6

Рис.6 - Log-файл подій в ІС

Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність розробленого методу забезпечення відмовостійкості ІТ ЗПЗ та комп'ютерних атак. Розрахунки оціночних значень для надмірностей та резервування за даними з експерименту над розробленою ІС вказують приблизно на 87 відсотків більше порівняно з ІС, в яку не імплементовано розроблений метод.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропонована абстрактна модель дає змогу розглядати об'єкти комп'ютерної системи, на які можуть впливати ЗПЗ та комп'ютерні атаки. І, тому, вона виступає основою розробленого нового методу забезпечення відмовостійкості спеціалізованої ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак.

В результаті, застосування розробленого методу здійснюється в системі, яка має механізми для перебудови та використовує надмірності. Для дослідження розробленого методу розроблено методику оцінювання його ефективності в частині надмірностей та резервування. Проведені експериментальні дослідження та оціночні розрахунки підтверджують ефективність розробленого методу забезпечення відмовостійкості ІТ в умовах впливів ЗПЗ та комп'ютерних атак.

Література

1. Царгородцев А.В. Решение проблемы повышения надежности информационно - управляющих систем кластерным методом / Царгородцев А.В., Савельев И.А. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования, 2007, с.79-84.
2. Михеев В. А. Системный анализ методов обеспечения и повышения надежности многофункциональной информационной системы / Михеев В. А. // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2009, с.24-34.
3. Методы достижения высокой отказоустойчивости. [Электронный ресурс] //OSP – Гид по технологиям цифровой трансформации - Режим доступа: <https://www.osp.ru/winitpro/2003/12/13029028>
4. Мудла Б.Г. Гарантоздатність як фундаментальний узагальнюючий та інтегруючий підхід / Б.Г. Мудла, Т.І. Єфімова, Р.М. Рудько // Математичні машини і системи. – 2010. – № 2. – С. 148 – 165.
5. Мартиросян А.Г. Основные методы обеспечения отказоустойчивости специализированных

- вычислительных устройств цифровой обработки сигналов / Мартиросян А.Г., Калмыков М.И. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 3. – С. 62-67; URL: <http://www.top-technologies.ru/article/view?id=34112>.
6. Голуб Б.В. Методика оценки живучести распределенных информационных систем / Б.В. Голуб, Е.М. Кузнецов, Р.В. Максимов // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. - 2014. – № 7(Ц8). – С. 221–232.
7. Боровська Т.М. Моделі ефективності і живучості технічних систем. / Боровська Т.М., Хомин Є.П., Северілов П.В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2011. № 1 стр.89-95.
8. Boranbayev, A., Boranbayev, S., & Nurusheva, A. (2018). Development of a software system to ensure the reliability and fault tolerance in information systems based on expert estimates. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 869, 924-935. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01057-7_68
9. Jack Dongarra, Thomas Herault1, Yves Robert Fault tolerance techniques for high-performance computing. Series: Computer Communications and Networks // 2015, IX, 320 p. 113 illus. / <https://www.netlib.org/lapack/lawnspdf/lawn289.pdf> дата звернення 23.1.22
10. Савенко О. С. Дослідження методів антивірусного діагностування комп'ютерних мереж / О. С. Савенко, С. М. Лисенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 2, т. 2. – С. 120–126.
11. Савенко О.С. Дослідження та аналіз блокування процесів в комп'ютерній системі / О.С. Савенко, Ю.П. Кльоц, С.В. Мостовий // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. - № 3, Том 1.- С.248-251.
12. Савенко О.С. Оцінки ефективності та достовірності розподілених систем виявлення зловмисного програмного забезпечення в комп'ютерних системах локальних мережах / Савенко О.С., Нічепорук А.О., Паюк В.П. // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, №36, 2019 р. - С.134-139.
13. Lysenko S. Information technology for botnets detection based on their behaviour in the corporate area network / S. Lysenko, O. Savenko, K. Bobrovnikova, A. Kryshchuk, B. Savenko // Communications in Computer and Information Science, ISSN: 1865–0929. – 2017. – Vol. 718. – Pp. 166–181.
14. Pomorova O. Multi-Agent Based Approach for Botnet Detection in a Corporate Area Network Using Fuzzy Logic [Text] / Oksana Pomorova, Oleg Savenko, Sergii Lysenko, and Andrii Kryshchuk // Communications in Computer and Information Science. – 2013. – Vol. 370. - PP.243-254, ISSN: 1865-0929.

References

1. A.V. Tsaregorodtsev, I.A. Savelyev, Solving the problem of increasing the reliability of information-control systems by the cluster method. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research, 2007, pp.79-84.
2. V. A. Mikheev. System analysis of methods for ensuring and improving the reliability of a multifunctional information system \ Bulletin of the Southern Federal University. Technical Sciences, 2009, pp. 24-34.
3. Methods for achieving high fault tolerance. [Electronic resource] //OSP - Guide to Digital Transformation Technologies - Access Mode: <https://www.osp.ru/winitpro/2003/12/13029028>
4. Mudla B.G. Guarantee capacity as a fundamental generalizing and integrating approach / B.G. Mudla, T.I. Yefimova, RM Rudko // Mathematical Machines and Systems. - 2010. - № 2. - P. 148 - 165.
5. Martirosyan A.G., Kalmykov M.I. Basic methods for ensuring fault tolerance of specialized computing devices for digital signal processing // Modern science-intensive technologies. - 2014. - № 3. - P. 62-67; URL: <http://www.top-technologies.ru/article/view?id=34112>.
6. Golub B.V. Methodology for assessing the survivability of distributed information systems / B.V. Golub, E.M. Kuznetsov, R.V. Maksimov // Bulletin of SamGU. Natural Science Series. - 2014. - № 7 (Ts8). – S. 221–232.
7. Borovska T.M. Models of efficiency and survivability of technical systems. / Borovska T.M., Khomin E.P., Severilov P.V. // Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute. 2011. №1, pp. 89-95.
8. Boranbayev, A., Boranbayev, S., & Nurusheva, A. (2018). Development of a software system to ensure the reliability and fault tolerance in information systems based on expert estimates. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 869, 924-935. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01057-7_68
9. Jack Dongarra, Thomas Herault1, Yves Robert Fault tolerance techniques for high-performance computing. Series: Computer Communications and Networks // 2015, IX, 320 p. 113 illus. / <https://www.netlib.org/lapack/lawnspdf/lawn289.pdf> дата звернення 23.1.22
10. Savenko O.S Research of methods of antiviral diagnostics of computer networks / O.S Savenko, S.M Lysenko // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2007. - № 2, v. 2. - P. 120–126. (in Ukrainian)
11. Savenko O.S., Klots Y.P, Mostoviy S.V. Research and analysis of process blocking in a computer system // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2007. - № 3, Volume 1.- P.248-251. (in Ukrainian)
12. Savenko O.S., Nicheporuk A.O., Paiuk V.P. Estimates of efficiency and reliability of distributed malware detection systems in computer systems of local networks // Computer-integrated technologies: education, science, production, №36, 2019. - P.134-139. (in Ukrainian).
13. Lysenko S. Information technology for botnets detection based on their behaviour in the corporate area network / S. Lysenko, O. Savenko, K. Bobrovnikova, A. Kryshchuk, B. Savenko // Communications in Computer and Information Science, ISSN: 1865–0929. – 2017. – Vol. 718. – Pp. 166–181.
14. Pomorova O. Multi-Agent Based Approach for Botnet Detection in a Corporate Area Network Using Fuzzy Logic [Text] / Oksana Pomorova, Oleg Savenko, Sergii Lysenko, and Andrii Kryshchuk // Communications in Computer and Information Science. – 2013. – Vol. 370. - PP.243-254, ISSN: 1865-0929.

Рецензія/Peer review : 26.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

СТИСЛО Т. Р.

ORCID ID: 0000-0002-2377-7985

e-mail: taras.styslo@ukd.edu.ua

ВАЩИШАК С. П.

ORCID ID: 0000-0002-1753-1540

e-mail: serhii.vaschyshak@ukd.edu.ua

БОЙЧУК А. М.

ORCID ID: 0000-0003-3357-8274

e-mail: andrii.m.boichuk@ukd.edu.ua

СТИСЛО О. В.

e-mail: oksana.styslo@ukd.edu.ua

ДОЦЕНКО Я. І.

ORCID ID: 0000-0002-2377-7985

ЗВО «Університет короля Данила»

АНАЛІЗ СТАНУ ІТ РИНКУ УКРАЇНИ

У роботі проаналізовано основні моделі підготовки персоналу і на основі аналізу було запропоновано до впровадження оновлену модель підготовки персоналу основувану на результатах співбесіди та критеріях бажаної вакансії.

Ключові слова: проект, підготовка персоналу, навчання, ІТ-ринок, фахівець.

T. STYSLO, S. VASHCHYSHCHAK, A. BOICHUK, O. STYSLO, Y. DOTSENKO
HEI “King Danylo University”

ANALYSIS OF THE STATE OF THE UKRAINIAN IT MARKET

Today, the global IT community is experiencing significant growth in digital production and software. Nearly 30 million software developers from around the world are working to meet the digital needs of the population. And this number is constantly growing.

Many factors have led to an increase in digital production all over the world, namely: the transition of most trading platforms to online commerce, the introduction of online services in most countries, the digitalization of public services, the rapid growth and promotion of technologies related to the circulation and implementation of cryptocurrencies and block-chain, the rapid growth of digital technology in the medical field and much more.

It is important to note that the growth of Ukrainian IT is significantly exceeding the global figure in terms of growth and has reached 26 percent since the beginning of this year. Given the rapid change in technology and market segmentation in accordance with the practical skills of certain technologies, universities often can't adapt themselves to current market needs and train a sufficient number of specialists.

The number of trained specialists is positively affected by internal courses being offered by leading Ukrainian and global companies. Often such programs are designed to train professionals who just begin their careers in the field, and for university graduates who lack practical experience in projects. Such programs are more concerned with preparation of specialists at the Trainee and Junior level, which is certainly important, but the main shortage of staff is being observed in the segment of specialists at the middle and higher level.

Given the peculiarities of the domestic information technology market, it is sometimes difficult to find a specialist in accordance with the requirements of a vacancy, as the specifics of each company, technology and requirements for specialists are significantly different. At the present stage there is an actual issue of training of a potential candidate for the position by the employer and employee of his company at the Middle level and above.

Key words: project, personnel training, training, IT market, specialist.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

За прогнозами провідних компаній світу очікується, що бюджети на розробку ПЗ зростуть у 2022 році, до більшого рівня, ніж до пандемії 2019 року. Це означає розширення на ринку найму та заповнення відсутніх навичок, які утримували світові фірми від великої кількості амбітних завдань. В зв'язку з цим, компанії знову обговорюють свої плани щодо продовження або поглиблення в нові технології чи прискорення проектів цифрової трансформації. Що стосується напрямку, то фірми охоплюють нові бізнес-моделі, щоб забезпечити постійну відповідність галузі новим технологіям, конкурентну різноманітність та інновації в наступні роки. В доповнення до того, що технологічна індустрія продовжує бути сильним і зростаючим сектором світової економіки, найважливішою характеристикою технології є розширений вплив на глобальну економіку та ринок праці. Часто розмиваються межі між прямим зростанням технологій і непрямим впливом, який вони мають як на бізнес, так і на всі аспекти життя.

Після подолання паніки від пандемії потреба в нових ІТ-фахівцях продовжує зростати, але пул кваліфікованих кандидатів не встигає за попитом. Технічні ІТ посади входять до 10 найважчих посад у всьому світі. У результаті більше половини всіх опитаних підприємств наймають недостатньо кваліфікованих технічних працівників, що призводить до нижчої якості продуктів і послуг, що надаються на ринку. Такі сфери, як кібербезпека, хмарні технології, штучний інтелект, машинне навчання, блокчейн та автоматизація, є сферами, де відбулося значне зростання технологій, що викликало потребу у професіоналах, які мають сучасні навички та знання для розробки, розгортання, керування та підтримки ПЗ.

Розрив між навичками та попитом є безпрецедентним. У всьому світі існує глобальна нестача у близько 40 мільйонів кваліфікованих працівників. Якщо не цьому не буде приділена увага, компанії ризикують втратити понад 8,4 трильйона доларів нереалізованого доходу до 2030 року.

В Україні ІТ сфера є найрозвинутішим та найбільшим інноваційним сектором економіки, що стабільно демонструє позитивну динаміку та перспективи зростання. За оцінками Світового Банку, міжнародних консалтингових компаній та вітчизняної ІТ спільноти, протягом останніх 5 років щорічне зростання галузі складає не менше 25%, причому прогнозується збереження таких показників у короткостроковій перспективі. Найбільша динаміка зростання спостерігається передусім у двох секторах – продаж ІТ продукції на внутрішньому ринку й ІТ аутсорсинг. При цьому експорт продукції ІТ аутсорсингу, обсяг якого складає більше половини всього обсягу продажів у галузі, лише протягом 2019- 2021 рр. зріс з 3,2 до 5 млрд. дол. Однак, зростання рівня технологій стимулює найбільший вплив на дефіцит кваліфікованих ІТ-фахівців, і такі галузі, як аналіз даних та веб-розробка, зіткнулися з найбільшою потребою у заповненні вакансій протягом наступного десятиліття. У зв'язку з цим організації відчувають нестачу персоналу, що призводить до покладання на кваліфікованих працівників додаткових обов'язків, завдяки чому відбувається професійне вигорання та зростання рівня плинності кадрів. Тому питання забезпечення ІТ-ринку необхідною кількістю кваліфікованих фахівців є доволі актуальним.

Аналіз досліджень та публікацій

За даними компанії Evans Data Corporation, у світі налічується 26,9 мільйона розробників програмного забезпечення (ПЗ), кількість яких зростатиме до 27,7 мільйонів у 2023 році та 28,7 мільйонів у 2024 році відповідно (таблиця 1). США в цьому рейтингу займають лідируючу позицію за кількістю розробників ПЗ та налічує 4,3 млн людей зайнятих в цій сфері [1]. Компанія Слешдата представила свою статистику, яка свідчить, що у 2019 році у світі було 18,9 мільйона розробників ПЗ, а в 2030 році ця цифра досягне 45 мільйонів [2].

Дані консалтингової фірми Bain & Company демонструють, як технології тримають лідируючу позицію у глобальному економічному зростанні. Найпомітніше зростання припадає на компанії «природжених технологій», які визнають технологію як основну частину своєї ідентичності. Ці фірми забезпечили понад 52% загального зростання ринкової вартості з 2015 року. Ще близько 20% зростання ринкової вартості припадає на компанії з технологічною стратегією, яка доповнює більш традиційні моделі.

Звіт Cyberstates вказує, що тільки прямий економічний вплив — доларова вартість товарів і послуг, вироблених протягом певного року, — становить близько 10,5% економічної вартості США, тобто, понад 2 трильйона доларів. Окрім цього, є непрямі впливи, такі як робота в ІТ-послугах та розробка спеціального ПЗ, що призводить до створення або підтримки додаткових робочих місць за допомогою прямих, чи непрямих засобів [3].

Зайнятість є одним із найважливіших показників індустрії технологій. Протягом багатьох років, технологічна зайнятість була більш стабільною, ніж загальна зайнятість, з нижчим рівнем безробіття та більш високими перспективами працевлаштування. Очікується, що зайнятість у США в технологічних професіях буде зростати приблизно вдвічі більше, ніж загальна зайнятість, багато професій зростуть у 4-5 разів більше, ніж у в середньому по країні, що продемонстровано статистикою на рисунку 1.



Рис.1. Відсоткове зростання ІТ зайнятості США за десятиріччя

З точки зору галузевої орієнтованості, IDC прогнозує, що витрати технологічної індустрії перевищать 5,3 трильйона доларів у 2022 році. Після падіння у 2020 році галузь повертається до попередніх темпів зростання на 5% - 6% у рік. США є найбільшим ринком технологій у світі, що складає близько 33%

від загального обсягу, або приблизно 1,8 трільйона доларів у 2022 році.

Західна Європа залишається вагомим гравцем, на яку припадає кожен п'ятий долар, витрачених на технології в усьому світі. Що стосується інших країн, то Китай зарекомендував себе як амбіційний гравець на світовому ринку технологій. Китай дотримувався моделі, яку також можна зустріти в регіонах, що розвиваються, де існує подвійний ефект від скорочення розриву в традиційних категоріях, таких як ІТ-інфраструктура, програмне забезпечення та послуги. Китай також займає лідерські позиції в таких сферах як 5G зв'язок, робототехніка та обіг крипто валют. Відсоткове розподілення витрат за регіонами світу можна побачити на рисунку 2.

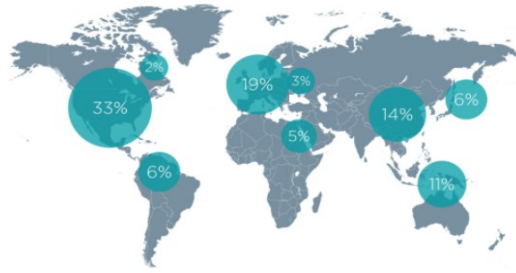


Рис. 2. Відсотковий розподіл витрат на ІТ в світі

Існує ряд таксономії для визначення областей простору інформаційних технологій. Ринок можна розділити на п'ять основних груп найвищого рівня. Традиційні категорії апаратного забезпечення, ПЗ та послуг становлять близько 56% від загальної кількості у всьому світі. Інша основна категорія - телекомунікаційні послуги, становить 25%. Решта 19% розділяють різні новітні технології, які або не вписуються в жодну з традиційних груп, або охоплюють

кілька категорій, що характерно для багатьох нових рішень, які включають елементи апаратного забезпечення, ПЗ та сервісу, такі як IoT, дрони та численні технології автоматизації (рисунок.3). Для ІТ-фахівців повернення до стратегії розвитку в їхніх організаціях означає, що зростання кар'єри є більш перспективними, ніж будь-коли. Ще до пандемії компанії почали використовувати подвійний підхід до ІТ. Тактичний був більш традиційним підходом, який забезпечував наявність інфраструктури та додатків для підтримки ділової діяльності. Стратегічним був передовий підхід, який включав технології як важливий компонент нових перспектив. Хаос пандемії надав ІТ-фахівцям стабільність у кар'єрі, бо вони вирішували безпосередні проблеми, а перспектива відновлення дає ще більшу стабільність, оскільки ІТ-галузь сприяє майбутньому успіху.

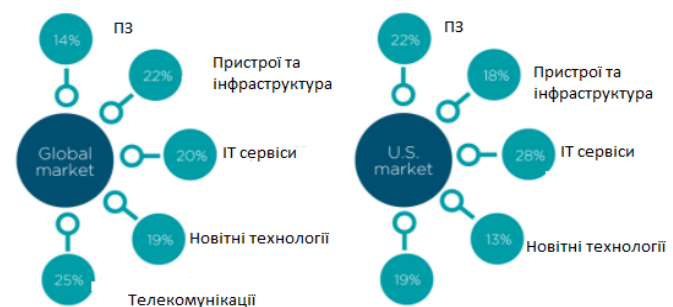


Рис. 3. Розділення ІТ по сферах

Як і минулого року, ІТ-фахівці в переважній більшості мають позитивний погляд на перспективи своєї роботи. Біля 80% ІТ-спеціалістів добре ставляться до своєї ролі технолога, при цьому 19% мають змішані почуття, і лише невелика меншість відчуває стурбованість. Тривала невизначеність щодо впливу пандемії є проблемою для розвитку, особливо тому, що деяким секторам може знадобитися більше часу для відновлення.

Однак, двостороння природа корпоративних технологій дає більше підстав для обнадійливих кар'єрних траєкторій. Компанії продовжують працювати з пошуком навичок, які їм потрібні. Оскільки компанії все більше просувають технологічні рішення, щоб отримати конкурентну перевагу, це ширше відкриває двері для кар'єрної мобільності. Ця мобільність не обов'язково повинна впливати із зміни компаній; організації демонструють більше бажання навчати своїх працівників, щоб вони зберегли знання та забезпечили точну відповідність навикам [4].

Розглянемо тепер стан та особливості вітчизняного ІТ ринку. На даний момент це один із ключових напрямів національного експорту (3 місце за обсягом) з потенціалом виходу на провідну позицію в Україні до 2025 року. Більше того, ІТ-сфера є нині однією з найбільш інвестиційно привабливих галузей української економіки [5].

Головною позитивною та знаковою новиною для української ІТ-галузі у 2020 р. стало, не зважаючи на вплив економічної кризи спричиненої епідемією коронавірусу, продовження динаміки зростання експорту українських ІТ-послуг (рисунок 4).[6] У 2020 р. цей показник уперше в історії опинився на рекордній відмітці у понад USD 5 млрд., що майже на 20% перевищує аналогічний показник попереднього року. Загалом, якщо порівнювати із 2013 р., то ІТ-індустрія з року в рік впевнено демонструє позитивну динаміку – наразі частка ІТ в загальному експорті країни перетнула позначку 8,3% (рисунок 5). Експорт ІТ-послуг вже випередив експорт хімічної продукції та досяг рівня експорту мінеральних продуктів, і наближається до показників експорту металургійної продукції.

Особливо це виділяється на фоні падіння національного ВВП на 4,2% у 2020 р. у порівнянні із попереднім роком, а також падіння зведеного індексу виробництва товарів та послуг за основними видами економічної діяльності на 4,4% за той же період (за даними Мінекономіки). Не менш контрастними є й показники за 2020 р. в інших галузях, які мають визначальне значення для української економіки: промисловість -5,2%, сільське господарство -11,5%, транспорт -14,2% [7].



Рис. 4. Об'єм експорту вітчизняного ІТ ринку

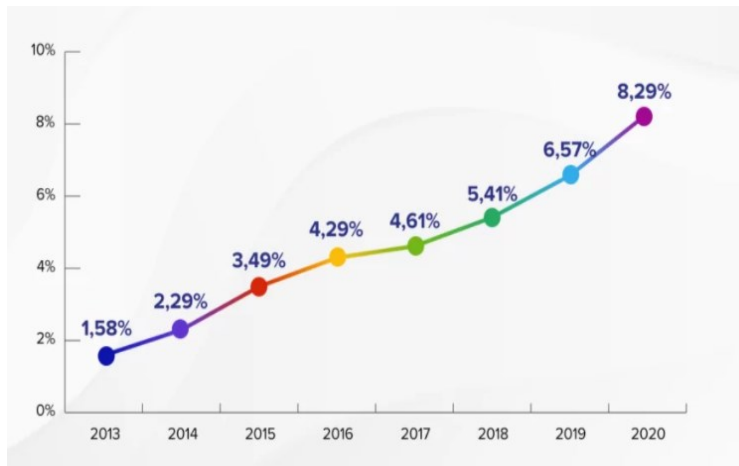


Рис.5. Частка ІТ в експорті України

За кількістю розробників програмного забезпечення Україна займає 2-е місце у Східній Європі. На даний момент існує понад 215 000 ІТ-спеціалістів, і очікується, що до 2022 року ця кількість досягне 220 000, а до 2025 року — 242 000. Очевидно, що кількість розробників програмного забезпечення зростає, і європейські технології також рухаються вперед надзвичайно швидко. Україна стала популярним напрямком аутсорсингу для бізнесу в усьому світі, враховуючи широкий потенціал кадрів та оптимальну ціну.

Зважаючи на особливості реєстрації українських спеціалістів галузі цифрових технологій про їх кількість можна дізнатись, звернувшись до відкритих державних реєстрів. Єдиний державний реєстр юридичних осіб, фізичних осіб-підприємців та громадських формувань доступний для публічного користування та завантаження. В реєстрі запису ФОП із дійсною реєстрацією, в яких основним видом діяльності було зазначено один пункт із цього списку зображеного на рисунку 6.

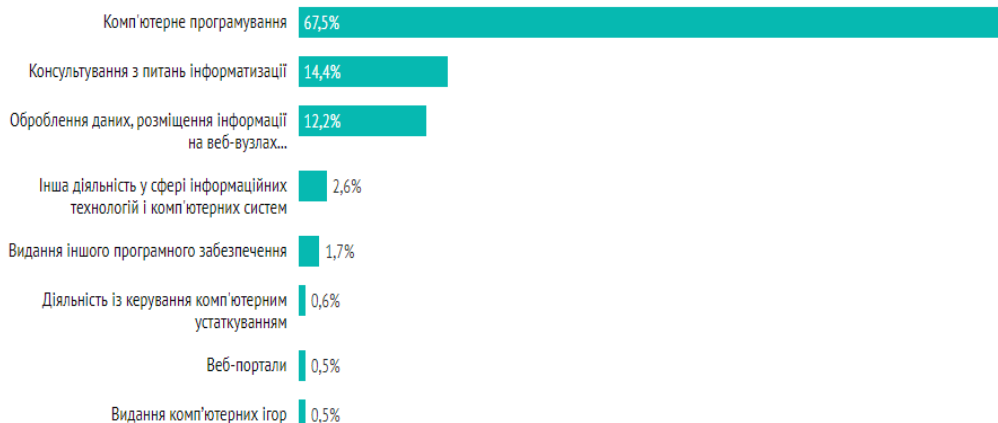


Рис.6. Розділення українських ІТ-ФОП по КВЕДах

Понад 60% усіх фахівців ІТ ринку України працевлаштовано в аутсорсингових ІТ-компаніях. Разом з тим, кількість стартапів (2000+) та міжнародних R&D-офісів (100+ компаній) зростає [8]. Українські аутсорсери співпрацюють переважно із компаніями з США (81% усіх клієнтів). Це можуть бути як стартапи на етапі бутстрепінгу, так і техногіганти. Серед останніх у портфоліо українських аутсорсерів є такі

компанії Cisco, IBM, Atlassian, Travelport, Paypal, Disney, MasterCard, Google та багато інших. Часто команди аутсорсерів, які працюють на західних клієнтів, переростають у повноцінні центри розробки (рідше переходять під бренд) для своїх клієнтів.

Крім цього, Україна очолює рейтинг країн для офшорної розробки програмного забезпечення і поступово перетворюється на справжній глобальний центр ІТ, що відображається в списку лідерів офшорної розробки в 4 економічних зонах у відповідності із зайнятим місцем:

1. Україна;
2. Угорщина;
3. Польща;
4. Індія;
5. Філіппіни;
6. Китай;
7. Бразилія;
8. Аргентина;
9. Єгипет;
10. Південна Африка.

Останнім аспектом на який варто звернути увагу при аналізі стан вітчизняного ринку ІТ технологій – це чисельність та тип основних гравців на цьому ринку. Дев'ять з десяти найбільших ІТ компаній це аутсорс компанії (рисунок 7), а отже сфокусовані на співпраці з іноземними замовниками, що також вносить певні корективи в підготовці спеціалістів, одним з ключових аспектів є обов'язкове знання англійської мови на рівні вище середнього.

Якщо брати до уваги розподіл за мовами програмування, на яких пишуть на спеціалісти то станом на 2021 рік маємо наступний розподіл: JavaScript – 18.11%, Java – 14.75%, C# – 14.31, Python – 12.12, PHP – 10.13, TypeScript – 6.92, C++ – 4.60, Swift – 3.08, Ruby – 2.99 та Kotlin – 2.62 відповідно [9].

Понад 8000 відкритих вакансій зараз існує на українському ІТ-ринку. Тільки компанії з найбільшою ІТ 50-ки потребують понад 7000 спеціалістів і ця цифра зростає щодня. Найбільший попит на спеціалістів рівня мідл – 37 % та на рівня сінйор – 33%. Кількість відкритих вакансій та динаміку зростання ТОП- 10 компаній продемонстровано на рисунку 7.

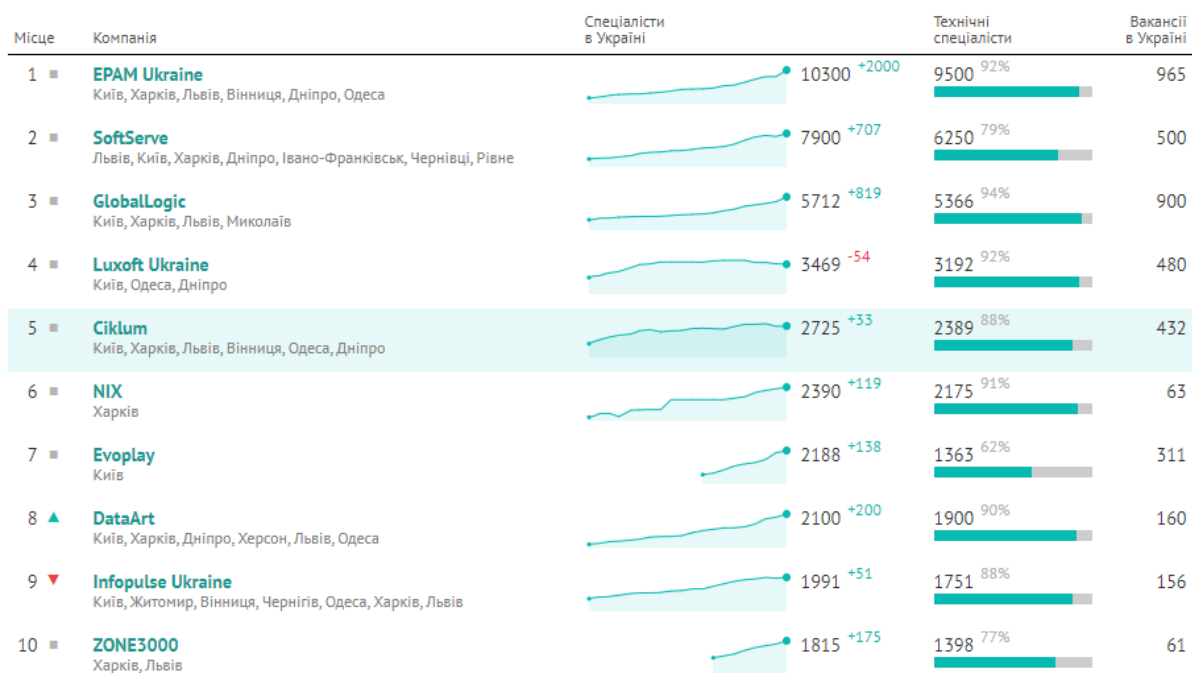


Рис.7. Динаміка зростання та відкриті вакансії ТОП-10

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: визначення кількості кваліфікованих фахівців для ІТ-ринку України та світу і розроблення сучасних підходів до усунення кадрового дефіциту у кваліфікованих ІТ-фахівцях.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення проблеми кадрової нестачі в сфері інформаційних технологій Міністерство цифрової трансформації обговорює з бізнесом модель змін у ІТ-освіті. Насправді ринок на них дуже чекає, адже кадровий голод стримує економічне зростання компаній. Наприклад, зростання ринку на 20% означає зростання попиту на кадри так само. Поки що вітчизняні заклади освіти не можуть забезпечити попит ринку, бо щороку в Україні відкривається близько 50 тис. ІТ-вакансій, а університети закінчують 20-25 тис.

випускників ІТ-спеціальностей. До того ж, наш ринок праці щороку втрачає 3-4% ІТ-фахівців – вони просто виїжджають із країни. Тому зараз як ніколи потрібен притік нових фахівців. Такими темпами до 2030 року сектор потребуватиме щонайменше 500-600 тис. Для вирішення проблеми потрібні фундаментальні реформи у системі ІТ-освіти. Саме їх нині обговорюють Міністерство цифрової трансформації разом із Міністерством освіти і науки, ІТ-бізнесом та експертною спільнотою. У компанії великі очікування до майбутніх змін, адже нестача фахівців на ринку праці в ІТ сильно стримує зростання галузі. З погляду бізнесу, перегрітий ринок виглядає так: компаніям доводиться витримувати величезну конкуренцію за утримання співробітників, не кажучи вже про найм нових.

Однак, з університетів приходять джуніори не лише без досвіду, а й часто без уявлення про потенційну роботу. Звичайно, така ситуація не лише в ІТ, а й ІТ-компанії, як і інші роботодавці, беруть у команду активних та талановитих випускників вузів. Проблема тільки в тому, що людина може виявитися не готовою до нових завдань. Існує чимало прикладів, коли люди через спотворені очікування змінювали професію або, принаймні, спеціалізацію. Тобто, молоді люди витрачають роки на вивчення академічних дисциплін, а практичні навички набувають уже на робочому місці. До речі, саме тому випускники шкіл іноді обирають «легку» не технічну спеціальність в університеті, але з перших курсів розпочинають шлях до ІТ.

У свою чергу, бізнес не зник довго чекати. Багато компаній самі взяли за виховувати програмістів. Компанії дійшли того, що легше навчити мотивованих студентів самим, ніж витратити час на пошук, а потім заповнювати прогалини нових співробітників з університетськими дипломами в технічних знаннях та англійській мові.

Розглянемо сучасні підходи до усунення кадрового дефіциту у кваліфікованих ІТ-фахівцях, ними є:

- підвищення квот на навчання в університеті;
- самоосвіта;
- курси від навчальних організацій;
- стажування в компанії;
- навчальні курси на базі компанії;
- індивідуальний коучінг та менторство.

Варто зауважити, що навчання студентів у вищих навчальних закладах та коледжах не може гнучко реагувати на потреби ринку, бо мінімальний термін навчання є не меншим 3-4 років.

Самоосвіта – це дуже важливий спосіб навчання, також потрібно розуміти той факт, що ІТ – це процес постійного самонавчання у надмірно-великих кількостях. Перехід з проекту на проект зазвичай вимагає вивчення нових технологій та базових принципів роботи інших галузей, до прикладу перехід зі сфери торгівлі в фінансові сервіси. Основна проблема полягає в тому, що потрібно власноруч фільтрувати інформацію, знаходити час для системного вивчення теми, шукати наставника або ж розбиратись у всьому самотужки. І цей процес непростий саме з погляду організації.

Розглядаючи тему освіти в компаніях, варто зауважити, що всі компанії з топ 5 мають свої навчальні центри для студентів. Це допомагає вивчити близько 10 тисяч фахівців щорічно. Компанія EPAM має центри підготовки фахівців Junior-рівня, співпрацює з 20 вузами та випускає 2000-3000 фахівців щорічно. Призначення навчальних програм EPAM – дати слухачам додаткову підготовку та проектну адаптацію. Навчання передбачає роботу у малих групах, максимальне занурення у середовище. Ці програми не підходять тим, хто хоче освоїти професію з нуля – для вступу потрібна певна база знань та навичок. Також для кожного напрямку існує свій перелік критеріїв, яким має відповідати кандидат на навчання. Крім довгострокових програм компанія також регулярно проводить вебінари, онлайн-зустрічі, що допомагає охопити аудиторію по всій країні. Незважаючи на те, що зараз компанія працює тільки з тими, хто вже має певний рівень підготовки, вона планує запуск освітнього проекту Computer Science для широкої аудиторії. Головними критеріями для кандидатів є розуміння принципів розробки ПЗ та базові знання з англійської мови.

Всі курси іншої провідної компанії Глобал Лоджик об'єднані під брендом GlobalLogic Education. Це освітня платформа, яка займається навчанням спеціалістів як у компанії, так і поза нею, а також співпрацює з університетами. Більшість курсів компанії призначені для чинних студентів.

GL University joint courses – курси виключно для студентів технічних вузів, які включені до навчальних програм партнерських університетів або проходять як факультативи. Програми курсів узгоджені з експертами компанії, а самі експерти залучаються до проведення лекцій та практичних занять. Напрями навчання за цією програмою: C/Embedded, Linux Kernel, C++, Python, Web, BA, Cloud computing.

GL University Proof of Concepts – програми, створені для студентів та викладачів технічних університетів. Учасники здобувають навички командної роботи, досвід виконання проекту та знайомляться із популярними на ринку технологіями. Напрямки навчання за цією програмою: Machine Learning, Embedded Automotive, Telecom.

GL BaseCamp – курси для студентів, які проходять на базі технічних вузів. Для участі в GL BaseCamp необхідні базові знання програмування або тестування, англійської – мінімум Intermediate. Значною перевагою є участь студентів у проектах з відкритим програмним кодом (open source). З-поміж випускників підготовчих курсів до компанії приєднуються до 50% учасників. Напрямки навчання: C/Embedded, QA, C++, JS, Java.

GL trainee Program — менторська програма для фахівців-початківців. Кожен молодий спеціаліст

отримує наставника та приєднується до робочої команди, де має можливість навчання через практичні реальні проєктні завдання. Ментор також допомагає молодому спеціалісту з рекомендаціями книг, відвідування внутрішніх тренінгів та лекцій (TechTalks), залученням до створення інженерних прототипів PoC.

Аналогічні курси представляє один з лідерів ринку – компанія SoftServe. Компанія плідно співпрацює з університетами та школами. Всі поточні навчальні програми, що представлені компанією є безкоштовними та спрямовані на підготовку спеціалістів до роботи на реальних проєктах, роботи в команді, удосконалення навиків програмування та спілкування із замовником. Щорічно компанія навчає більше 1500 спеціалістів та має майже 80 актуальних навчальних програм.

Ключовими перевагами навчальних програм компаній є:

- підготовка до роботи на прикладі реальних проєктів;
- можливість працевлаштування після успішного проходження курсу;
- висока якість спеціалістів-практиків, що проводять навчання;
- безкоштовне проведення курсів;
- доступ до величезних баз навчальних матеріалів компаній.

Враховуючи наведені вище переваги, можна з впевненістю сказати, що ІТ-компанії вагомо сприяють закладам освіти та працюють пліч о пліч задля забезпечення ринку фахівцями.

Менторство – це один із способів неформального навчання. Досвідчений наставник займається з менті (учнем), допомагає йому заповнювати прогалини у знаннях та покращувати навиків. Через кілька занять співробітник вже показує результат: вирішує складний робочий кейс та може проходити іспити підвищення кваліфікації.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Зібравши факти, статті та дослідження стану світової, європейської та української ІТ-галузі можна робити висновок про позитивну динаміку її розвитку. Основними чинниками зростання світового ринку є потреба в цифровій трансформації у всіх напрямках діяльності людей, а також зростання кількості користувачів різного роду пристроїв та технологій. Проаналізувавши показники вітчизняного ринку можна стверджувати, що наш ринок цифрових технологій зростає значно швидше за світовий. Однак, стрімке збільшення попиту на розробку ПЗ провокує значний дефіцит досвідчених кадрів. Для подолання цього дефіциту пропонується збільшити квоти на навчання в університетах, мотивувати самонавчання студентів, застосовувати стажування студентів на базі компаній та стимулювати проходження ними навчальних курсів провідних ІТ-фірм, застосовувати індивідуальні коучінг та менторство при навчанні молодих спеціалістів. Це сприятиме підвищенню рівня існуючих ІТ-спеціалістів та допоможе компаніям в короткочасній перспективі ліквідувати кадровий дефіцит.

Література

1. Стаття Прогнозування зростання чисельності ІТ спеціалістів від редакції «Evans Data corporation»: веб-сайт. URL: <https://evansdata.com/press/viewRelease.php?pressID=278>.
2. Електронний ресурс міжнародної ІТ компанії: веб-сайт. URL: <https://www.daxx.com/>.
3. Степфен Мінтоу. Звіт по результатам витрат ІТ ринку за 2020 рік.
4. Полякова О.М., Ромащенко О.В. Економіка та управління національним господарством, 2018. – С. 179-186.
5. Дослідницька публікація агенства DLF Україна «Цифри, перспективи та бар'єри українського ІТ ринку».
6. ІТ в Україні: цифри, перспективи та бар'єри: веб-сайт. URL: <https://dlf.ua/ua/it-v-ukrayini-tsfiri-perspektivi-ta-bar-yeri/#main>
7. Ukraine It Association Звіт про стан українського ІТ – ринку 2021: веб-сайт. URL: <https://itukraine.org.ua>
8. Яновський Ігор Топ-50 ІТ-компаній України, літо 2021: майже +10 тисяч спеціалістів за пів року: веб-сайт. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/top-50-summer-2021>
9. Ломінська Марія ІТ-ринок праці в цифрах: В Україні різко виріс попит на ІТ-фахівців: веб-сайт. URL: <https://blog.ithillel.ua>

References

1. Stattia Prohnozuvannia zrostannia chyselnosti IT spetsialistiv vid redaktsii «Evans Data corporation»: veb-sait. URL: <https://evansdata.com/press/viewRelease.php?pressID=278>.
2. Elektronnyi resurs mizhnarodnoi IT kopmanii: veb-sait. URL: <https://www.daxx.com/>.
3. Stepfen Mintou. Zvit po rezultatam vytrat IT rynku za 2020 rik.
4. Poliakova O.M., Romashchenko O.V. Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom, 2018. – S. 179-186.
5. Doslidnytska publikatsiia ahentstva DLF Ukraina «Tsyfry, perspektyvy ta bariery ukrainskoho IT rynku».
6. IT v Ukraini: tsyfry, perspektyvy ta bariery: veb-sait. URL: <https://dlf.ua/ua/it-v-ukrayini-tsfiri-perspektivi-ta-bar-yeri/#main>
7. Ukraine It Association Zvit pro stan ukrainskoho IT – rynku 2021: veb-sait. URL: <https://itukraine.org.ua>
8. Ianovskyi Ihor Top-50 IT-kompanii Ukrainy, lito 2021: maizhe +10 tysiach spetsialistiv za piv roku: veb-sait. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/top-50-summer-2021>
9. Lominska Mariia IT-rynok pratsi v tsyfrakh: V Ukraini rizko vyris popyt na IT-fakhivtsiv: veb-sait. URL: <https://blog.ithillel.ua>

КРИВЕНЧУК Ю. П.

ORCID ID: 0000-0002-2504-5833

e-mail: Yurii.P.Kryvenchuk@lpnu.ua

БУРАК М. Т.

ORCID ID: 0000-0002-8979-3347

e-mail: burakmarko@gmail.com

Національний університет "Львівська політехніка"

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ НАДБУДОВ SELENIUM ТА BEAUTIFULSOUP

На сьогодні кількість цифрової інформації у всесвітній мережі збільшується експоненціально з кожним роком. Тому зріс попит на аналіз даних з вебресурсів. Проте для проведення операцій з даними їх потрібно спочатку отримати з джерела. Існує дуже багато інструментів, написаних під мову python для роботи з видобутком інформації, з яких selenium та BeautifulSoup вважаються найпопулярнішими. Попри те, що обидві надбудови працюють досить добре, розробники прикладного програмного забезпечення намагаються обрати найбільш оптимальну з них. Тому виникла необхідність перевірки цих двох пакетів на ефективність. У роботі розглянуто тривалість роботи парсерів для пошуку тегів на вебсторінці за допомогою різних методів та платформ. Дослідження проведено на основі онлайн-платформ для продажу товарів. Результати показали, які саме інструменти та функції найкраще використовувати для знаходження товару на інтернет-магазинах.

Ключові слова: парсер, selenium, BeautifulSoup, python, інтернет-магазин, тег, вебсторінка, пошук.

YURIY KRYVENCHUK, MARKO BURAK

Lviv Polytechnic National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF SELENIUM AND BEAUTIFULSOUP EFFICIENCY

Nowadays, the amount of digital information on the World Wide Web is growing exponentially every year. Therefore, the demand for data analysis from web resources has increased. However, to perform data operations, information must first be obtained from the source. Today almost every popular programming language has at least one library that can perform web scraping operations and extract data from websites, although some of them are hard to use or not compatible with the language of the projects, that this data is intended. Therefore, a lot of developers use python as the main tool for such projects. It can be used to build almost any platform and communicate with the parsers within a project. Also, this language is easy to use and has a huge community. There are many python-based tools for working with data mining, of which selenium and BeautifulSoup are considered the most popular. Despite the fact that both add-ons work quite well, the developers strive to choose the most optimal one. Thus, there is a need to test these two packages for effectiveness.

The paper considers the duration of parsers to search for tags on a web page using different methods and platforms. The study was conducted on the basis of online platforms for the sale of goods. The results showed which tools and functions are the best choices to find products on online stores. The object of analysis was the website "Rozetka", which is the biggest and the most popular online store in Ukraine. This article has described the advantages and disadvantages of using these libraries especially for scraping data from online stores. To analyze these add-ons, there was a special program created which can open the website on a browser, find the search bar, and enter the name of the desired product, afterward using various methods of these libraries perform a product search. For each search time was recorded. The results showed that BeautifulSoup can find tags faster than selenium in general, however, for searching and web scraping online stores selenium can perform better and is more suitable.

Keywords: web scraper, selenium, BeautifulSoup, python, online store, tag, web page, search.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сьогодні сфера видобутку даних з вебсторінок досить добре розвинена і безліч теперішніх мов програмування мають надбудови, які з легкістю можуть знайти будь-які дані з цих джерел. Проте не завжди зручно використовувати певні мови для цих задач. Наприклад, для платформ написаних одною мовою не доречно використовувати парсер іншої – це накопичує надлишкову інформацію, ускладнює реалізацію і рідко є ефективним вирішенням проблеми. Зараз дуже популярною є мова python, адже на основі цієї мови можна зробити майже будь-який проєкт, тому її часто використовують для створення продуктів. Через таку популярність і зручність цієї мови, вона також стала хорошим інструментом для пошуку інформації на теренах інтернету.

Тим не менш, вибір мови – це не лише єдина проблема для розробників, найважчим є саме вибір найкращого інструменту серед пакетів для видобутку даних, адже усі вони здебільшого виконують однакові функції. Для вибору надбудов не лише потрібно знати, яка з них показує кращу ефективність, а й врахувати, з якого саме джерела видобувається інформація.

Позаяк онлайн-магазини містять великий об'єм даних, саме вони часто є джерелом інформації. Оскільки кількість таких магазинів дуже зросла за останні роки, а попит на інформацію з них надалі буде лише збільшуватися, саме інтернет-платформи стали об'єктом нашого дослідження.

Визначення ефективності кожного з інструментів включало не лише сам пошук даних, але й ініціалізацію модулів, які також впливають на час виконання програми.

Аналіз досліджень та публікацій

Згідно з статтею Рейчел Чапман [1] Selenium – це API сервіс, який дає змогу використовувати

інтерактивні елементи браузера, створювати автоматичні тести чи знаходити дані на вебресурсах. Також ця надбудова дає можливість опрацювати код javascript, тому має більше функцій, ніж інші. Також це єдина бібліотека, що уможлиблює пошук прихованих елементів на сторінках.

У статті [1] описано надбудову BeautifulSoup – це бібліотека для мови python, яка дає змогу знаходити дані з вебсторінок за допомогою допоміжної бібліотеки request. Пошук відбувається серед тегів HTML сторінки, яка формується після GET запиту до адреси. Надбудова дуже проста у використанні, її функції зрозумілі, з її допомогою можна опрацювати також XML документи, та все ж її можливості доволі обмежені.

Selenium часто використовують передовсім для створення послідовності дій і уже потім для пошуку елементів, у той час, як BeautifulSoup вміє лише шукати елементи з конкретної сторінки.

Ці дві бібліотеки добре справляються з пошуком інформації з документів, але, вважається, що BeautifulSoup працює повільніше через просту реалізацію алгоритмів. З іншого боку, ця бібліотека показує чудові результати з необ'ємними завданнями.

Також варто зауважити, що є можливість поєднувати ці бібліотеки, а саме використовувати selenium для проведення операцій з інтерактивними елементами, тоді як BeautifulSoup може забезпечити простий пошук елементів. Однак, слід зауважити, що цей метод не завжди ефективний через додаткову ініціалізацію парсера.

Тим не менш, не всі погоджуються з твердженням, що BeautifulSoup, працює повільніше за selenium. Так Франк Адраде [2] зазначає, що BeautifulSoup працює швидше завдяки швидшому опрацюванню HTTP запитів, у той час як Selenium є повільнішим, бо опрацює всі файли з вебсторінки. Зазначені статті датовані 2021 роком, а тому порівняльний аналіз ефективності описаних у них інструментів є дуже актуальним на сьогодні.

Слід також зазначити, що вже були спроби описати деякі алгоритми пошуку даних в онлайн-магазинах. Так у статті [3] описано, алгоритм знаходження даних для сайту amazon.com з використанням бібліотеки selenium. З цієї публікації видно, що надбудова selenium є надпотужна і вміщає безліч корисних функцій для створення парсера. Також у статті використано бібліотеку pandas, яка допомогла автору зберігати дані після знаходження їх на сайті.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є порівняти час виконання завдання інструментами selenium і BeautifulSoup та вивчити їхні методи пошуку елементів у HTML файлі на основі даних онлайн-магазину.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення мети цього дослідження було створено програмну реалізацію парсерів мовою python, яка дала змогу взаємодіяти з сервісом онлайн-магазину та шукати теги продуктів на ньому за допомогою надбудов selenium та BeautifulSoup.

Джерелом даних було обрано сайт “Rozetka” [4], який є найбільшим сервісом в Україні серед онлайн-магазинів. Сайт дуже популярний серед українців, тому є чудовим об'єктом для аналізу. Предметом пошуку на платформі було обрано популярний на ринку мобільний телефон компанії Apple iPhone 12 Pro Max.

На жаль, запит GET не надає html документу з продуктом, оскільки магазин блокує запит на нього. А отже єдиний спосіб, яким можна отримати цей елемент, – це можливість інтерактиву з javascript, що дає змогу вписати назву товару в пошукову стрічку, а відтак досліджувати вихідний документ. Єдиним інструментом, який може взаємодіяти з javascript, є selenium, а отже його ініціалізація є обов'язковою для обох надбудов для подальшого аналізу сторінки. У зв'язку з цим час на її активацію в нашому дослідженні буде опущено.

Дослідження включало два експерименти:

- порівняння часу лише для пошуку елемента;
- порівняння часу для пошуку елемента з урахуванням ініціалізації модуля BeautifulSoup.

Отримані дані покликані допомогти зрозуміти, яка з надбудов працює швидше для пошуку елемента, а також показати доцільність використання модуля для видобування даних з інтернет-магазинів.

Для дослідження було створено спеціалізований програмний продукт, при реалізації якого спочатку викликається метод driver.get, який відкриває сайт магазину, після знаходиться пошукова стрічка і вводиться назва товару “iPhone 12 Pro Max” за допомогою методу send_keys(). Після завантаження сторінки з усіма товарами програма отримує html сторінку і шукає бажаний елемент.

Для аналізу використано такі методи бібліотеки selenium:

- By.XPATH
- By.CLASS_NAME
- By.CSS_SELECTOR

Оскільки бібліотека BeautifulSoup не може самостійно обробляти XPATH, було досліджено лише два методи, які є відповідниками до selenium:

- find_all(*, class_=)
- select()

Результати виконання програми для кожного з методів з пошуку елемента представлені в таблиці 1.

Підсумки апробації програми пошуку елемента з урахуванням ініціалізації надбудови BeautifulSoup представлені в таблиці 2.

Таблиця 1

Швидкодія методів для пошуку елемента

Метод	Час, с
By.XPATH	0.343468
By.CLASS_NAME	0.259308
By.CSS_SELECTOR	0.039893
find_all(*, class =)	0.014951
select()	0.033909

Таблиця 2

Швидкодія методів з урахуванням ініціалізації

Метод	Час, с
By.XPATH	0.343468
By.CLASS_NAME	0.259308
By.CSS_SELECTOR	0.039893
find_all(*, class =)	0.463759
select()	0.569477

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Під час виконання даного дослідження було проаналізовано два інструменти для мови python, а також перевірено на швидкодію їхні методи. Враховуючи усі результати з таблиць 1 та 2, можна стверджувати, що надбудова BeautifulSoup, справді, знаходить елементи на html документах швидше за надбудову selenium: усі методи цього пакету показали кращий час для знаходження тегів, найкращим з них виявився метод find_all(), який знайшов інформацію удвічі швидше за метод select() та в разі перевершив виконання майже усіх функцій модуля selenium.

Однак в першому експерименті не було враховано час ініціалізації парсера, що суттєво змінює час виконання: з таблиці 2 видно, що швидкодія збільшилась у понад 10 разів, а це більше за будь-який метод надбудови selenium. Тому можна зробити висновок, що за можливості використання HTTP запитів, бібліотека

BeautifulSoup дійсно працює швидше для пошуку тегів з вебсторінок, але якщо такої можливості немає і потрібно інтерактивно працювати зі скриптами javascript, то доцільніше використовувати надбудову selenium. Позаяк дослідження було проведене на основі інтернет-магазинів, для яких здебільшого необхідно інтерактивно комунікувати з вебсторінкою, то краще використовувати бібліотеку selenium, яка зменшить час апробації програми та ефективніше виконання завдання.

Література

1. Порівняння між Selenium та BeautifulSoup: який найкращий? | Limeproxies [Інтернет]. Порівняння між Selenium та BeautifulSoup: який найкращий? | Limeproxies. Доступний у: <https://limeproxies.netlify.com/blog/selenium-vs-beautifulsoup>
2. Андраде Ф. Веб-парсинг за допомогою BeautifulSoup, Selenium чи Scrapy? [Інтернет]. Medium. 2021. Доступний у: <https://towardsdatascience.com/web-scraping-with-beautiful-soup-selenium-or-scrapy-62c6f3545de7>
3. Бхатачарія С. Парсинг сайтів електронної комерції за допомогою Selenium та Python [Інтернет]. Analytics Vidhya. 2020. Доступний у: <https://medium.com/analytics-vidhya/web-scraping-e-commerce-sites-using-selenium-python-55fd980fe2fc>
4. Інтернет-магазин ROZETKATM: офіційний сайт найпопулярнішого онлайн-гіпермаркету в Україні [Інтернет]. Доступний у: <https://rozetka.com.ua/ua/>
5. Кхдер МА. Парсинг або веб-сканування: Сучасний стан, техніки, підходи та застосування. International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications. 2021;13(3):144–68.
6. Томас ДМ, Матур С. Дата аналіз для парсингу з використанням python. В 2019. с. 450–4.
7. МакХенлі Р. Навчання: Текстова аналітика для моделювання за допомогою python. В 2021. с. 68–82.

References

1. Comparison Between Selenium vs BeautifulSoup: Which Is the Best One? | Limeproxies [Internet]. Comparison Between Selenium vs BeautifulSoup: Which Is the Best One? | Limeproxies. Available at: <https://limeproxies.netlify.com/blog/selenium-vs-beautifulsoup>
2. Andrade F. Web Scraping with BeautifulSoup, Selenium or Scrapy? [Internet]. Medium. 2021: Available at <https://towardsdatascience.com/web-scraping-with-beautiful-soup-selenium-or-scrapy-62c6f3545de7>
3. Bhattacharya C. Web Scraping E-commerce sites using Selenium & Python [Internet]. Analytics Vidhya. 2020. Available at: <https://medium.com/analytics-vidhya/web-scraping-e-commerce-sites-using-selenium-python-55fd980fe2fc>
4. Online store ROZETKA: the official site of the most popular online hypermarket in Ukraine [Internet]. Available at: <https://rozetka.com.ua/ua/>
5. Khder MA. Web scraping or web crawling: State of art, techniques, approaches and application. International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications. 2021;13(3):144–68.
6. Thomas DM, Mathur S. Data Analysis by Web Scraping using Python. In 2019. p. 450–4.
7. McHaney R. Tutorial: Text analytics for simulation with python. In 2021. p. 68–82.

ОСОБЛИВОСТІ БАЗОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ МОДЕЛЮВАННЯ 3D-ОБ'ЄКТІВ У SKETCHUP

В статті розглянуто і досліджується особливості використання базових інструментів для моделювання тривимірних об'єктів у програмі SketchUp. Описано основну властивість пакету - інструмент Push/Pull («Тягни/Штовхай»), завдяки якому будь-яку площину можна «втягнути» в сторону, створивши по мірі її руху нові бокові стінки.

Розглянуто найпоширеніші на ринку програмні пакети для моделювання, проведено порівняння базових можливостей SketchUp та інших пакетів, виділено напрямки роботи з геометрією моделей. Описано основні інструменти для керування 3D-об'єктами у SketchUp, основи процесу візуалізації.

Ключові слова: SketchUp, 3D-модель, тривимірна графіка, інструмент Push/Pull, візуалізація.

V. MIKHALEVSKYI
Khmelnitsky National University

THE FEATURES OF BASIC MODELING TOOLS OF 3D OBJECTS IN SKETCHUP

Recently, the intuitive-oriented program for designers and architects, which is used to quickly create three-dimensional models of objects, structures, buildings and interiors - SketchUp, has gained widespread recognition in the world of 3D. So now almost all other developers include in their software products or direct support for models (files) SketchUp, or data exchange with it through special plug-ins. SketchUp is designed primarily for sketch, searchable 3D modeling in three-dimensional space. However, SketchUp is successfully used to develop a variety of projects in all genres of design, advertising, engineering design, film and game production.

The salutation in the increasing popularity of SketchUp has occurred since the program was "tied" to the new owner's Internet projects - Google 3D models and Google Earth. The reason for choosing and acquiring SketchUp by Google, apparently, was its simplicity and accessibility. By creating a model of an architectural structure or any other object in SketchUp, users could place their creations in the public online collections of Google. So, in particular, the selection of collections "Cities under development" contains several thousand models of real architectural buildings of the world. At the same time, Google accepted 3D models only with the requirement that they were textured and equipped with the correct geographical reference. Compared to many other popular packages, SketchUp has a number of features that are positioned as advantages. The main feature of this program is the almost complete absence of pre-configuration windows. All geometric characteristics during or immediately after the end of the tool are set from the keyboard in the Value Control Box. Another key feature is the Push/Pull tool, which allows any plane to be "pulled out" to the side, creating new side walls as it moves. You can move the plane against the predetermined curve, using a special tool Follow Me. The program is also characterized by extreme accuracy of calculations and measurements.

Keywords: SketchUp, 3D model, three-dimensional graphics, Push/Pull tool, visualization.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Тривимірна графіка настільки широко увійшла до нашого життя, що ми стикаємося з нею, часом навіть не помічаючи її. Область застосування тривимірної графіки надзвичайно широка: від реклами та кіноіндустрії до дизайну інтер'єру та виробництва комп'ютерних ігор. Наприклад, використання комп'ютерних технологій при проектуванні та розробці дизайну інтер'єру допомагає побачити кінцевий варіант задовго до того, як ситуація буде відтворена. 3D-графіка дозволяє створювати тривимірні макети різних об'єктів, повторюючи їх геометричну форму та імітуючи матеріал, з якого вони створені. Щоб отримати повне уявлення про певний об'єкт, необхідно оглянути його з усіх боків, з різних точок при різному освітленні. На ринку програмних засобів з обробки 3D-графіки для ПК на базі ОС Windows лідируючі позиції зайняли три пакети [1].

Перша програма зі створення та обробки тривимірної графіки для ПК **3D Studio Max** із самого початку була створена для платформи Windows [1, 4]. Вона є «напівпрофесійним додатком», але її функцій цілком достатньо для отримання потрібних тривимірних зображень. Головною особливістю пакета є підтримка великої кількості прискорювачів для 3D-графіки, сильні світлові ефекти, велика кількість доповнень, створених «третіми» фірмами. Програма не вимоглива до ресурсів системи, що дозволяє їй працювати на комп'ютерах навіть слабкої потужності. Але вона поступається конкурентам за функціями моделювання та анімації.

Друга програма **Softimage 3D** спочатку створювалася для бази, заснованої на станції SGI і лише потім була підлаштована під операційну систему Windows. Програма відрізняється потужними можливостями моделювання, наявністю великої кількості спеціалізованих параметрів, що регулюються. Для програми створено багато доповнень, випущених іншими фірмами, що спричинило збільшення функцій пакета. Але ця програма в порівнянні з іншими вимагає більше ресурсів і виглядає важкувато [1, 2].

Третя програма **Maya** – одна з найновіших з погляду інтерфейсів та можливостей. Пакет випущений відразу в декількох варіаціях для різних операційних систем, до їх складу увійшла і Windows. Інструменти Maya зведені в чотири групи: анімація, моделювання, фізичне моделювання, візуалізація зображень і об'єктів. Зручний інтерфейс, що легко налаштовується, створений відповідно до всіх стандартів і вимог.

Сьогодні Maya є найпоширенішою програмою зі створення та обробки 3D-графіки для ПК, не вимагає великих ресурсів [1, 2].

У типових 3D-додатках тривимірний простір позначається трьома координатами – X, Y та Z. При цьому X-координата зазвичай позначає горизонтальний напрямок, Y-координата – вертикальний, а Z-координата – глибину (у деяких додатках координати Y та Z міняються місцями). Кожна точка у 3D-просторі має своє абсолютне положення у 3-мірному світі та прив'язана до певних глобальних світових координат. Крім того, ця ж точка має і локальні координати, якими визначається її місцезнаходження щодо інших частин об'єкта.

Виклад основного матеріалу

Тривимірна графіка - це щось середнє між комп'ютерною грою та зйомкою справжнього фільму. Процес створення тривимірного проекту поділяється на кілька обов'язкових та послідовних етапів. Вони однакові, незалежно від того, в якому 3D-редакторі виконується проект і який це проект. Тривимірний проект часто називають сценою [1, 2].

Моделювання. У тривимірному просторі 3D немає жодних предметів. Віртуальний світ наповнюється різними об'єктами, які створює користувач в 3D-редакторі. Це відноситься до тривимірних персонажів, будівель, гір, лісів та будь-яких інших речей віртуального світу. Процес створення тривимірних об'єктів називається моделюванням, а самі об'єкти - моделями. На відміну від мальованого зображення, тривимірну модель можна обертати та переміщати у трьох вимірах, дивлячись на неї з усіх боків. Залежно від того, який саме об'єкт потрібно створити, на його моделювання може піти від кількох секунд до кількох місяців. Наприклад, шафу можна зробити за пару хвилин, а створення людської голови може зайняти не один день.

Анімація. На відміну від моделювання, анімація не є обов'язковим етапом створення тривимірних проектів. Наприклад, якщо дизайнер працює над проектом інтер'єру квартири, йому не потрібно змушувати об'єкти рухатися, оскільки для такого проекту важливо показати зовнішній вигляд та розміщення предметів у приміщенні. Якщо ж створюється рекламний ролик чи якийсь ефект на зразок вибуху, то без анімації не обійтись. Анімація передбачає зміну положення об'єктів, які присутні в тривимірному просторі, у часі.

Зйомка. Під час перегляду фільму або телепередачі ви можете помітити, що режисер часто змінює точку зйомки. Кінцевий продукт тривимірної анімації, по суті, є тим самим відео, яке може «зніматися» з різних точок, вибір точки зйомки у тривимірній анімації не менш важливий, ніж у цьому кіно або на телебаченні. Для знімання анімації, створеної в 3D-редакторі, застосовуються віртуальні камери, які можна переміщати, а також перемикається між ними у процесі анімації. Віртуальні камери мають ті ж властивості, що й справжні: вони можуть фіксувати картинку під різним кутом зору, імітувати ефект глибини різкості тощо.

Освітлення. Віртуальний простір, в якому працюють 3D-художники, на відміну від реального світу, немає джерел освітлення. Щоб побачити, що відбувається у віртуальному світі, його треба висвітлити. Для імітації освітлення у тривимірній графіці використовуються спеціальні об'єкти, які називаються джерела світла. Щоб освітлення 3D-об'єктів було схоже на справжнє, доводиться враховувати безліч факторів: де розташоване джерело світла, з якою силою воно світить, від яких предметів відбивається тощо.

Текстурування. Усі предмети, з якими ми маємо справу у реальному житті, відрізняються один від одного зовнішнім виглядом. Об'єкти, створені у тривимірному просторі, на етапі моделювання відрізняються один від одного лише формою. Щоб 3D-модель нагадувала реальний предмет, недостатньо точно повторити його форму, потрібно ще й розфарбувати її належним чином. Процес розмальовки тривимірних об'єктів називається текстуруванням. В загальному сенсі слово «текстура» має дещо інше значення і означає особливості будови твердої речовини, зумовлені характером розташування його складових частин. У тривимірній графіці текстурою може бути як фотографія реального об'єкта, накладена на 3D-модель, так і двовимірний малюнок, створений у програмі типу Adobe Photoshop.

Візуалізація. Послідовність виконання попередніх етапів створення тривимірного проекту може бути різною. Однак візуалізація завжди є останнім етапом роботи над проектом, без візуалізації робота в 3D-редакторі не має жодного сенсу, оскільки без неї не можна отримати кінцевий результат. Візуалізацію тривимірного проекту можна порівняти зі зйомкою відеокамерою, проте готове відео чи статичне зображення у цьому разі записується не на касету, а файл. Візуалізацію також називають рендерингом, або прорахунком.

Найпростішим способом створення нескладних об'ємних об'єктів і їх поєднань в середовищі є використання інтегрованого в ОС Windows 10 редактора Paint 3D. За допомогою інструменту можна швидко і легко створювати, а також редагувати моделі в тривимірному просторі. В той же час, найпопулярнішим представником 3D-моделей залишається Autodesk 3ds Max - найпотужніший, функціональний і універсальний додаток для тривимірної графіки. 3D Max - це стандарт, під який випущено безліч додаткових плагінів, розроблено готових 3D-моделей, відзнято гігабайти авторських курсів і відеоуроків.

Останнім часом широкого визнання у світі 3D набула інтуїтивно-орієнтована програма для дизайнерів і архітекторів, яка використовується для швидкого створення тривимірних моделей предметів, конструкцій, будівель і інтер'єрів, - SketchUp. Тому майже всі сторонні розробники включають у свої програмні продукти або безпосередню підтримку моделей (файлів) SketchUp, або обмін даними з ним через

спеціальні плагіни. SketchUp (Sketch - ескіз, Up - вгору) призначений в основному для ескізного, пошукового 3D-моделювання в тривимірному просторі. Насправді, завдяки гнучкості закладених у нього механізмів моделювання, можливості та області його застосування набагато ширші – SketchUp успішно використовують для розробки різноманітних проєктів у всіх жанрах дизайну, реклами, інженерному проєктуванні, кіно- та ігрово-виробництві [3, 5].

Тут же є відкрите діалогове вікно **Instructor** (Інструктор), в якому можна, вибираючи різні інструменти, продивитися анімовані міні-уроки по них і перейти на відповідні розділи сайту офіційного *Help*.

Маючи дружній інтерфейс, SketchUp володіє чудовими можливостями для вирішення практично всіх основних завдань технічного 3D-моделювання, у тому числі високу точність та зручність побудов рівня професійних CAD редакторів.

Спочатку встановлюються стандартні, попередньо обумовлені види (проекції). За ці опції відповідає наступна група інструментів навігації, панель яких викликаємо через головне меню *View > Toolbars > Views* (Види). Панель за замовчуванням поміщається в горизонтальний рядок панелей інструментів, розташовану під текстовими меню, над вікном моделювання.

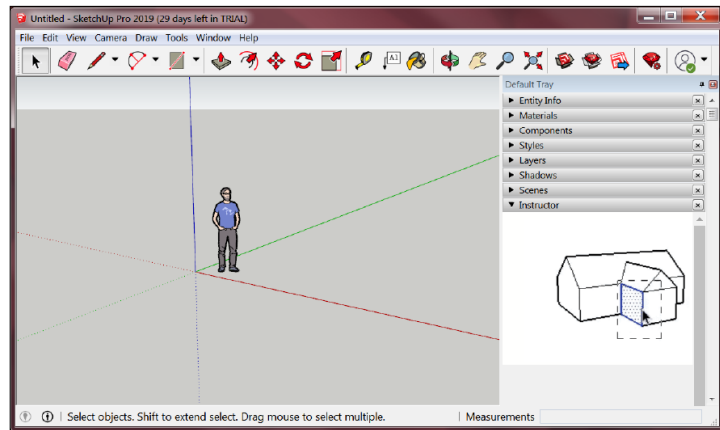


Рис. 1. Робоче вікно програми



Рис. 2- Панель кнопок групи «Види»

За порядком розміщення: *Iso* (Ізометрія); *Top* (Зверху); *Front* (Спереду); *Right* (Дело); *Back* (Ззаду); *Left* (Зліва). Крім того, є ще вид *Bottom* (Знизу), який не представлений кнопкою на панелі інструментів (такий, що рідко використовується) і доступний тільки з головного меню *Camera > Standard Views* (Стандартні види).

Механізм «виходу в третій вимір», представлений у групі інструментів **Modification Tools**. Відкриваємо меню *View > Toolbars*, включаємо показ (ставимо відмітку) на пункті *Modification* (Модифікації) – блок їх кнопок додається до панелі інструментів. Як впливає із назви цієї групи, інструменти використовуються для модифікацій (змін, спотворень, редагування) об'єктів. У тому числі - для перетворення вже створених інструментами малювання плоских 2D-фігур у 3D-моделі, а також для змін положення (позицій), розмірів, пропорцій будь-яких існуючих об'єктів та їх окремих елементів.



Рис. 3- Панель кнопок групи «Модифікація»

Такі інструменти мають потужні функції, пов'язані з вирішенням конкретних завдань моделювання.

Push/Pull (Тягни/Штовхай). Створення в SketchUp всього різноманіття тривимірних об'єктів фактично засноване на використанні одного принципу – «виштовхування» або «витягування» плоских 2D-поверхень у третій вимір. Отже, інструмент, який буквально працює на цьому принципі, дія якого зазвичай позначається в 3D-редакторах терміном *Extrude* - видавлювання. Інструмент не працює з ребрами, а тільки з *Faces* (Поверхнями) і тільки в напрямку, перпендикулярному (нормальному) самій вихідній поверхні. І ще – «за раз» можна застосувати інструмент тільки до однієї, одиничної поверхні, тобто він «не вміє» одночасно працювати з декількома (зібраним множинним вибором) поверхнями, що лежать навіть в одній площині. Якщо до поверхні, яку ми вибрали для Push/Pull, не можна застосувати цей інструмент, з'являється підказка поруч із курсором у вигляді символу «забороняючого знака». Такий типовий випадок – спроба «видавлювати» криволінійну (точніше – згладжену) поверхню, наприклад, бічну поверхню циліндра, оскільки в цьому випадку вона сприймається не як плоска. Є два варіанти застосування інструменту, точніше два варіанти послідовності дій:

Спосіб 1. Якщо нічого в сцені не вибрано, то після розміщення курсору інструменту (який зміниться на його зображення) на поверхню автоматично відбувається її вибір, тому немає необхідності її попереднього вибору інструментом *Select*. Тобто, тут немає необхідності попередньо клацати на поверхні, що витягується - досить просто переміщати курсор Push/Pull з натиснутою кнопкою мишки, і поверхня буде «слідувати» за ним. Для завершення опції відпускаємо кнопку

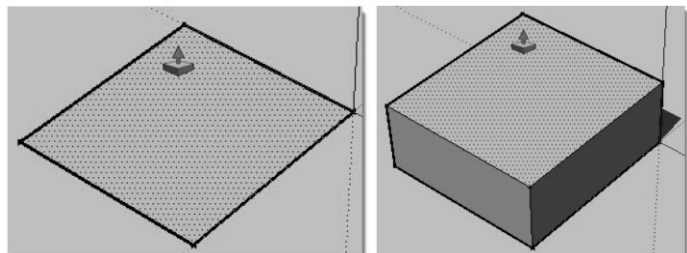


Рис. 4- Приклад роботи інструменту «Push/Pull»

Для завершення опції відпускаємо кнопку

миші у потрібний момент (при досягненні потрібної величини) [3].

Недолік цього методу, при всій його швидкості, полягає в тому, що при цьому поверхня, що витягується/вдавлюється, повинна бути постійно видимою, перебувати в полі зору до завершення опції. При цьому часто бувають ситуації, коли зручніше змінити ракурс для точного завершення опції [3, 5].

Спосіб 2. Спочатку вибираємо потрібну поверхню, потім натискаємо кнопку інструмента. В цьому випадку у курсора з'являється синя точка, що говорить про те, що тепер курсором можна натискати в будь-якому місці, вказуючи спочатку початкову точку, потім кінцеву, завершуючи опцію. При цьому між цими двома кліками можна як завгодно змінювати ракурс камери - інструмент пам'ятає вибрану для опції поверхню.

Інструмент працює як у «позитивному», так і в «негативному» напрямку, що відповідає «зниженню» або «підвищенню» нового рівня щодо стартової поверхні. Ще одну додаткову функцію інструменту описує підказка у статусному рядку – «*Ctrl = toggle create new starting face*». Тобто, після вибору поверхні та натискання клавіші *Ctrl* (утримувати не обов'язково) опція завершуватиметься створенням нової стартової поверхні, яка при подальшому рухові курсору залишається на місці. Таким чином, фактично відбувається вплив не на саму обрану поверхню, а на копію, при цьому оригінал залишається на місці. І ще одна дуже корисна функція: якщо відразу після застосування на одній поверхні двічі швидко клікнути (подвійний клік) інструментом курсору на інший – буде виконана та ж дія на ту саму величину і в тому ж напрямку.

Follow me (Слідуй за мною). Інструмент фактично є просунутим варіантом попереднього: те ж вичавлювання площини 2D-фігури (профілю), але вже по певній напрямній лінії (вздовж шляху). При цьому профілем видавлювання може бути будь-яка поверхня (Face), а напрямною (Path) – будь-яка одиночна лінія-ребро (пряма чи ламана) або ребро іншої поверхні. Залежно від особливостей геометрії конкретного об'єкта можна використовувати кілька різних варіантів (прийомів) роботи з інструментом [3, 5].

Випадок видавлювання профілю (шестикутника у прикладі) по дорозі – одиночної кривої лінії:

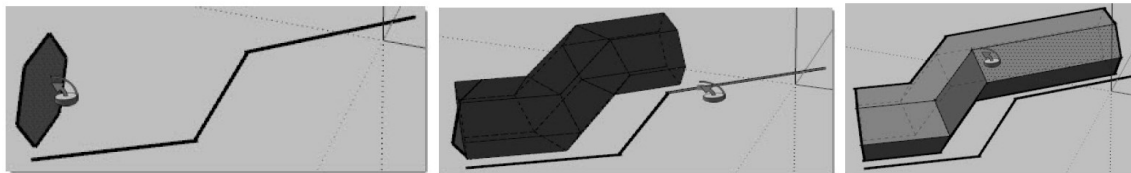


Рис. 5- Приклад роботи інструменту «Follow me»

Тут застосовано перший спосіб, який можна назвати «ручним». Вибираємо інструмент (клацаємо кнопку) – з'являється курсор у вигляді цього інструменту > поміщаємо курсор на профіль, тим самим вибираючи його > утримуючи кнопку мишки, акуратно тягнемо профіль по напрямній (вона підсвічується червоним кольором) > відпускаємо кнопку в кінцевій точці напрямної, завершуючи створення об'єкта.

Move (переміщення). Це один з найбільш затребуваних інструментів SketchUp, використовується для переміщення будь-яких об'єктів і елементів побудов, а також має ще кілька додаткових потужних функцій. Тут працюють ті ж два способи (послідовності) виконання опції вибору об'єкта впливу, аналогічні інструменту Push/Pull – без попереднього вибору, якщо нічого не вибрано до цього, і з попереднім зазначенням об'єкта його вибором. Рух супроводжується тимчасовою точковою лінією, що підказує напрямком переміщення, – червоною, зеленою, синьою, якщо рухаємося по осях, або чорною у всіх інших напрямках. Ще одна дуже чудова функція інструменту - можливість одночасного з переміщенням дублювання елемента, що переміщається (підказка: «*Ctrl = Toggle Copy*»). Тобто, з натиснутою кнопкою *Ctrl* переміщається не сам обраний елемент, а його копія, а оригінал залишається на місці. При цьому, з'являється ще одна підказка – символ «+».

Rotate (обертання). Інструмент обертання об'єктів «повністю» або їх спотворення за рахунок обертання окремих елементів побудов. Після вибору інструмента (клік на кнопці) стандартний курсор змінюється на зображення інструменту Protractor (Транспортир) з круговими стрілками. Робота Protractor, як і інших інструментів модифікацій, контролюється точними числовими вимірами (кутовими величинами). Взагалі, можливі два варіанти роботи інструменту: перший – коли курсор (а також площина та центр обертання) знаходиться поза об'єктом, у порожньому просторі сцени. Другий варіант - центр обертання має бути на самому об'єкті. При цьому курсор автоматично прагне «лягти» на одну з поверхонь об'єкта під ним: якщо її орієнтація збігається з одним з планів осей, курсор «забарвиться» у цей колір. У решті випадків – залишиться чорного кольору, показуючи, що площина обертання не збігається з жодним із планів осей [3].

Якщо центр і площина обертання повинні знаходитися на самому об'єкті, досить просто помістити курсор Rotate на потрібну поверхню (грань) об'єкта - при цьому одночасно відбувається вибір елемента під курсором (поверхні або ребра), так що немає необхідності в попередньому виборі. Наступний крок після встановлення курсора в потрібне положення: першим кліком вказуємо (фіксуємо) центр обертання > переміщенням курсору (без натискання кнопки мишки) «витягуємо» пунктирну лінію, вказуючи положення вихідного (першого) променя кута повороту і другим кліком фіксуємо його > переміщенням курсора (без натискання кнопки мишки) повертаємо об'єкт на потрібний кут > третім кліком завершуємо опцію. Якщо центр обертання знаходиться поза об'єктом, потрібно попередньо вибрати об'єкт (елемент об'єкта)

інструментом Select (вказуючи, що саме його будемо обертати), а вже потім включати та налаштувати інструмент Rotate. Звичайно, попередній вибір буде потрібен і при призначенні повороту кільком об'єктам одночасно.

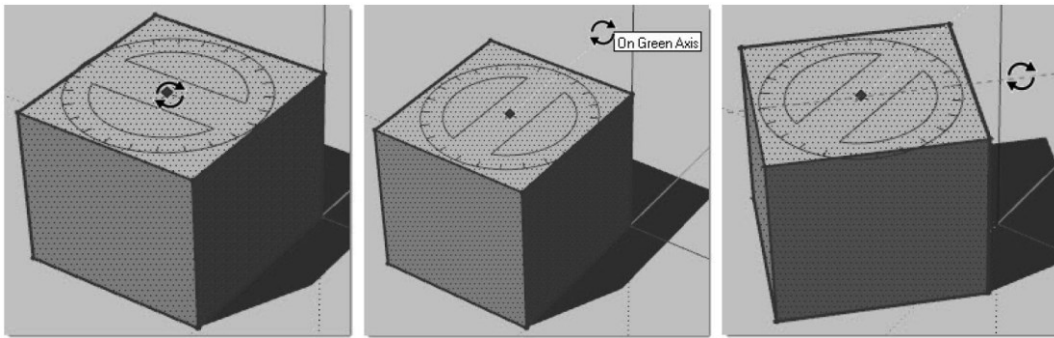


Рис. 6- Приклад роботи інструменту «Rotate»

Scale (масштабування). Інструмент використовується для зміни розмірів та пропорцій об'єктів повністю та їх окремих елементів для спотворення. Для надання об'єкту майбутнього масштабування можливі два варіанти вибору: можна або заздалегідь вибрати його інструментом Select, а потім вибрати інструмент кліком на кнопку (стандартний курсор змінюється на зображення інструменту), або спочатку увімкнути інструмент, а потім клацнути його курсором на об'єкті (елементі). Необхідно пам'ятати принцип обмеження механізму масштабування SketchUp – він працює тільки й завжди за напрямками осей сцени (червоної, зеленої синьої).

Group (група). Завдання створення «фізично повноцінного» об'єкта вирішує найважливіша опція SketchUp – Make Group (Створити групу). Група - це пов'язана в єдине ціле комбінація будь-яких (зокрема за розташуванням у сцені) елементів побудов, які за групуванням сприймаються програмою як об'єкт. Тобто для його вибору достатньо одного кліка інструментом Select на будь-якому з її елементів, частин.

Все, що стосується групи, відноситься і до іншого, «родинного» механізму – **Components** (Компоненти), які фактично є модифікацією Груп, тобто мають всі ті самі властивості та можливості, плюс свої специфічні. Отже, група створюється вибором потрібних елементів (об'єктів) та застосуванням команди меню *Edit > Make Group* чи аналогічною – з контекстного меню обраного. Зворотна опція (розрив групи) доступна з меню *Edit > Group > Explode* або з аналогічного пункту контекстного меню раніше створеної групи.

Головна відмінність групи від простого набору окремих елементів і головна перевага полягає в тому, що з моменту угрупування не тільки народжується єдиний об'єкт, але він ще й фізично відокремлюється від інших елементів моделі. Очевидно, що набагато простіше (особливо у складній сцені) працювати з групами-об'єктами, ніж з розрізненими ребрами та поверхнями – починаючи з опцій вибору і закінчуючи будь-якими діями з ними. Зрозуміло, що всі опції модифікацій будуть впливати на групу як єдине ціле, тобто на всі об'єкти, що містять її, одночасно і з однаковими параметрами. Наочна ілюстрація – групи мають дуже зручну функцію «розвороту будинку», точніше навколо геометричного центру групи. Це робиться за допомогою інструменту *Move*. Активуємо інструмент і поміщаємо його курсор на одну з поверхонь габариту об'єкта (сині лінії) – з'являється зображення *Protractor*, а фактично інструменту обертання *Move* та чотири червоні хрестики-маркери, за які можна повернути групу в цій площині. Площини габаритного боксу завжди є паралельними планам осей сцени незалежно від об'єктів його вмісту та орієнтації в сцені [3, 5].

Групи мають ще кілька унікальних можливостей щодо модифікацій та призначення матеріалів. Звичайно, підхід до моделювання як до

створення фізично реальних об'єктів можливий тільки з використанням груп, які можуть мати індивідуальні, значущі «імена». Отже, насамперед для створення групи треба вибрати все те, що має увійти. Можна не позначати кожен поверхню і ребро (використовуючи + Shift - множинний вибір) - занадто довго і незручно, а скористатися «прямокутником» вибору. Однак часті випадки, коли і такий спосіб незручний, не підходить. Наприклад, якщо за потрібним об'єктом знаходяться інші, і ми їх бачимо (або їх окремі елементи) у поточному ракурсі камери – вони також потраплять до зони вибору. Звичайно, повернувши камеру, можна «зловити» потрібний ракурс, але і цей спосіб може вимагати нераціональних маніпуляцій.

У SketchUp є можливість зберегти наш файл, призначивши місце на жорсткому диску (краще – в окрему папку) та ім'я – наприклад, «dom_0». І з цього моменту почне працювати опція автозбереження, що допоможе не втратити виконану роботу у разі непередбачених проблем. Слід зазначити, що SketchUp

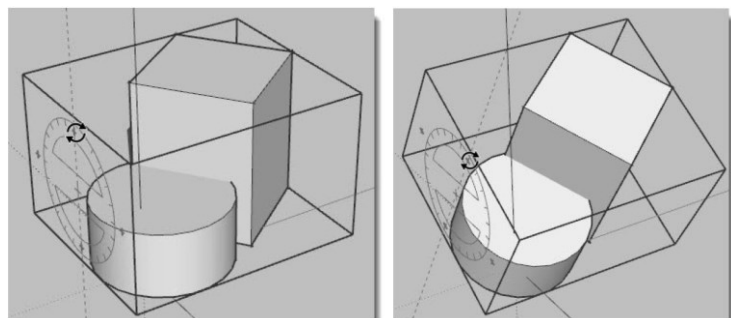


Рис. 7- Приклад роботи інструменту «Group»

підтримує кирилицю, і ми можемо працювати не тільки з українськими/російськими іменами файлів, але і з введенням будь-яких текстових даних та з іншими, «внутрішніми» опціями. Однак згодом можуть виникнути проблеми при передачі моделі в інші 3D-редактори та рендери, які в більшості «не розуміють» кирилицю. Тому, якщо передбачається подальша робота з моделлю не тільки в SketchUp, краще використовувати лише латиницю в іменах файлів і деяких інших опціях. Крім того, і повний шлях до файлу у файлової системі повинен містити тільки латинські букви. Наприклад, призначаємо місце збереження файлів таким чином: – D:\DOM\dom_0.

Ми можемо звично зберегти файл поточного проекту через пункт головного меню (File > Save) і виконувати інші дії з файлами через основні текстові меню. Проте зручніше і швидше все-таки користуватися кнопками інструментів, тому має сенс «викликати» панель управління файлами, що постійно використовується, і рядом інших опцій у наш інтерфейс: – View > Toolbars > Standard. Кнопки цієї панелі запускають типові для програм під Windows опції меню роботи з файлами та редагування: – File: New, Open, Save, Cut, Print; – Edit: Copy, Paste, Erase, Undo, Redo. Опції Undo/Redo (Скасувати/Повторити) допомагають швидко (покроково назад/вперед) скасувати попередні помилкові дії або скасувати попередні скасування. Причому кількість доступних кроків скасування не регламентована [3, 5].

Потрібно сказати, що потужніе зростання популярності SketchUp сталося з моменту «прив'язки» програми до інтернет-проектів нового власника – Google 3D-моделі (<http://SketchUp.Google.com/3dwarehouse/>) та Google планета Земля (<http://earth.Google.com/intl/ru/>). Для взаємодії з цими проектами у SketchUp вбудовані спеціальні опції та інструменти. Причиною вибору та придбання SketchUp корпорацією Google стали його простота та доступність. Створивши в SketchUp модель архітектурної споруди чи будь-яких інших об'єктів, користувачі могли розмішувати свої творіння в загальнодоступних онлайн колекціях Google. Так, зокрема, підбірка колекцій «Города в разработке» містить декілька тисяч моделей реальних архітектурних будівель світу. Причому, компанія Google приймала 3D-моделі тільки з вимогою, що вони текстуровані та оснащені правильною географічною прив'язкою.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

3D-моделі представляють 3D-об'єкт використовуючи набір точок в 3D-просторі, поєднаних між собою різноманітними геометричними об'єктами, наприклад, трикутниками, лініями тощо. У комп'ютерній графіці **3D-моделювання** - це процес розробки математичного представлення будь-якої тривимірної поверхні об'єкта за допомогою спеціалізованого ПЗ. Продукт моделювання може бути представлена у вигляді програмного коду або відображена у вьюпорті чи вювері, як тривимірний модель, а також за допомогою двовимірного зображення, що створюється за допомогою процесу рендерингу. 3D-моделі можуть створюватись вручну або автоматично, у тому числі за допомогою 3D-сканера.

SketchUp - програма для моделювання, що підтримує 2D та 3D моделі [3, 5]. У порівнянні з багатьма іншими популярними пакетами, SketchUp володіє рядом особливостей, що позиціонуються як переваги. Основною особливістю цієї програми є майже повна відсутність вікон попередніх налаштувань. Всі геометричні характеристики під час або зразу після закінчення дії інструменту задаються з клавіатури в поле Value Control Box (поле контролю параметрів), яке знаходиться в правому нижньому кутку робочої області, справа від напису Measurements (панель вимірів). Ще однією ключовою особливістю є інструмент Push/Pull (Тягни/Штовхай), завдяки якому будь-яку площину можна «втягнути» в сторону, створивши по мірі її руху нові бокові стінки. Рухати площину можна впритик до наперед заданої кривої, для цього служить спеціальний інструмент Follow Me. Також програма характеризується надзвичайною точністю прорахунків та вимірювань.

Література

1. Магомедова А.А. 3D-моделирование. Учебное пособие. - Махачкала: ДГИНХ, 2011. - 217 с.
2. Меженин А.В. Технологии разработки 3D-моделей. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2018. – 100 с.
3. Пелетин Ю.А. 3D-моделирование в SketchUp 2015 – от простого к сложному. Самоучитель. – М. ДМК Пресс, 2015. – 370 с.
4. Тимофеев С.М. В подлиннике. 3ds Max 2011. BHV-СПб, 2010. - 512 с.
5. <https://www.sketchup.com>

References

1. Magomedova A.A. 3D modeling. Textbook. - Makhachkala: DGINH, 2011. - 217 p.
2. Mezhenin A.V. Technologies for developing 3D models. Textbook. SPb: ITMO University, 2018. - 100 p.
3. Peletin Y.A. 3D modeling in SketchUp 2015 - from simple to complex. Self-taught. - M. DMK Press, 2015. - 370 p.
4. Timofeev S.M. In the original. 3ds Max 2011. BHV-SPb, 2010. - 512 p.
5. <https://www.sketchup.com>

МІХАЛЕВСЬКА Г. І.

ORCID ID: 0000-0001-8576-7734

e-mail: gmihalevska@gmail.com

МІХАЛЕВСЬКИЙ В. Ц.

ORCID ID: 0000-0002-8197-8005

e-mail: cezar_mv@ukr.net

Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ПОНЯТЬ ТЕОРІЇ ГРАФІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ МЕРЕЖ

В статті розглянуто і досліджується використання понять теорії графів для аналізу складних мереж. Абстрактно від їх фізичної природи розглядаються топологічні властивості цих мереж, які істотно визначають функціонування мереж і становлять предмет дослідження комплексних мереж.

Розглянуто один з напрямків аналізу складних мереж - їх візуалізацію, яка дозволяє отримати важливу інформацію про структуру і властивості мережі без точних розрахунків. Описано основні інструменти візуалізації, у переважній більшості, вільно поширювані, безкоштовні програми.

Ключові слова: складні мережі, топологія, візуалізація мережі, граф, Graph Online, Gephi.

G. MIKHALEVSKA, V. MIKHALEVSKIYI

Khmelnitskyi National University

THE USAGE OF GRAPH THEORY CONCEPTS FOR THE COMPLEX NETWORKS ANALYSIS

The article considers and investigates the usage of graph theory concepts for the complex networks analysis. Abstract from their physical nature, the topological properties of these networks are considered, which significantly determine the functioning of networks and are the subject of study of complex networks. Each node of the network can be connected with other nodes by a certain number of connections that may have a direction, or nodes can be connected with each other by symmetrical connections. Also in modern systems of analysis and visualization of networks such concepts as degrees of vertices, ranking, clustering, modularity, algorithms of laying of graphs, etc. are widely used.

To calculate the parameters of the network as a whole use the number of nodes, the number of edges, the geodetic distance between nodes, the average distance from one node to another, density - the ratio of the number of edges in the network to the maximum possible number of edges for a given number of nodes; number of triads, diameter of the network (maximum geodetic distance). Structural network analysis includes: click detection (subgroups that are more interconnected than other click nodes); identification of network components; finding bridges (nodes, the removal of which breaks the network into incoherent parts); groups of equivalent nodes (which have the most similar communication profiles). One of the areas of complex networks analysis is their visualization, which allows to obtain important information about the structure and properties of the network without accurate calculations. Software tools for the complex networks analysis support the calculation of all the described parameters of the nodes, the network as a whole, provide its structural analysis and visualization, work with different data formats.

For the complex networks analysis, the main visualization tools are described, in the vast majority, freely distributed, free programs.

Keywords: complex networks, topology, network visualization, graph, Graph Online, Gephi.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Поняття мережі стало одним із центральних понять нашого часу. Велике зацікавлення ними відбулося наприкінці минулого століття [1]. Існує багато систем, що мають форму мережі: це інтернет, www, нейронні мережі, транспортні, розподільчі, соціальні мережі та багато інших [1, 2]. Сучасне дослідження мереж змінилося від аналізу невеликих графів та властивостей окремих вершин і ребер до розгляду статистичних властивостей цих графів (мереж). Зі зміною мети змінилися й методи аналізу. Народження «науки про мережі» відбулося внаслідок розвитку комп'ютерних технологій: www надає порівняно легкий доступ до баз даних з інформацією про різноманітні мережі й водночас потужність комп'ютерів дозволяє докладно їх аналізувати.

У поведінці таких мереж топологія відіграє провідну роль. Щоб означити такі об'єкти і коло досліджуваних питань вживають термін «складні мережі» (complex networks) [3, 4]. Виявляється, що мережі, які виникають внаслідок людської життєдіяльності, та природні мережі мають специфічну структуру, що характеризується розподілом ступенів вузлів із товстим хвостом (fat-tail distribution) і сильно відрізняється від структури вже дослідженого в математиці класичного випадкового графа. Зазвичай ці мережі не статичні, а такі, що розвиваються, і для розуміння їхньої структури необхідно знати принципи їх еволюції.

Складні мережі володіють нетривіальними топологічними властивостями. Більшість об'єктів природи і суспільства мають бінарні зв'язки, які можна представити у вигляді мережі, де кожен об'єкт - це точка, а його зв'язок з іншим об'єктом - це лінія або дуга. Так, відносини між людьми в групі (соціальна мережа), відносини між фірмами, комп'ютерні мережі, веб, відносини між генами в ДНК - все це приклади мереж [4, 7].

Топологічні властивості цих мереж розглядаються абстрактно від їх фізичної природи, але істотно визначають функціонування мереж і становлять предмет дослідження комплексних мереж. Кожен вузол мережі може бути пов'язаний з іншими вузлами певним числом зв'язків. Зв'язки між вузлами можуть мати

напрямок (орієнтована мережа) або вузли можуть бути пов'язані між собою симетричними зв'язками (неорієнтована мережа). Також у сучасних системах аналізу та візуалізації мереж широко використовуються такі поняття як степені вершин, ранжування, кластеризація, модульність, алгоритми укладки графів та ін.

Виклад основного матеріалу

В рамках теорії складних мереж (*Complex Networks*) вивчаються мережеві характеристики не лише з точки зору топології мереж, але і статистичні феномени, розподіл ваг окремих вузлів і ребер, ефекти протікання і провідності. Попри те, що в розгляд теорії складних мереж потрапляють різні мережі (електричні, транспортні, інформаційні), найбільший внесок у розвиток цієї теорії внесли дослідження соціальних мереж. Останнім часом виділився окремий науковий і практичний напрям - аналіз соціальних мереж (*SNA, Social Networks Analysis*), який базується, з одного боку, на соціології, а з іншого - на теорії складних мереж [1, 2, 4].

У теорії складних мереж виділяють три основні напрями: 1. Дослідження статистичних властивостей, які характеризують поведінку мереж; 2. Створення моделей мереж; 3. Прогнозування поведінки мереж при зміні структурних властивостей.

У прикладних дослідженнях найчастіше застосовуються такі типи для мережевого аналізу характеристики як розмір мережі, мережева щільність, міра центральності та інші. При аналізі складних мереж, як і в теорії графів досліджуються: а) параметри окремих вузлів; б) параметри мережі в цілому; в) мережеві підструктури.

Для окремих вузлів виділяють наступні параметри [2]: а) вхідна напівстепені вузла – кількість ребер графа, які входять у вузол; б) вихідна напівстепені вузла – кількість ребер графа, які виходять з вузла; в) середня відстань від цього вузла до інших; г) ексцентричність (*eccentricity*) – найбільша з геодезичних відстаней (мінімальних відстаней між вузлами) від цього вузла до інших; д) посередництво (*betweenness*), що показує, скільки найкоротших шляхів проходить через даний вузол; е) параметри центральності, наприклад, загальна кількість зв'язків даного вузла по відношенню до інших.

Для аналізу мережі в цілому використовують такі параметри, як [3]: а) кількість вузлів; б) кількість ребер; в) середня відстань між вузлами; г) щільність – відношення кількості ребер в мережі до можливої максимальної кількості ребер $n(n-1)/2$ при даній кількості вузлів n ; д) кількість симетричних, транзитивних і циклічних триад; е) діаметр мережі – найбільша геодезична відстань у мережі і т.д.

Важливою характеристикою мережі є функція розподілу степенів вузлів $P(k)$, яка визначається як ймовірність того, що довільний вузол мережі i має степінь $k_i=k$. Мережі, які характеризуються різними $P(k)$, демонструють різну поведінку. $P(k)$ в деяких випадках може бути розподілом Пуассона ($P(k) = e^{-m} m^k / k!$, де m - математичне сподівання), експоненціальним ($P(k) = e^{-k/m}$) або степеневим ($P(k) \sim 1/k^\gamma$, $k \neq 0$, $\gamma > 0$).

Мережі зі степеневим розподілом степенів вузлів називаються безмасштабними (*Scale Free*). Саме безмасштабні розподіли часто спостерігаються в реальних мережах соціального характеру. При степеневому розподілі можливе існування вузлів з дуже високим степенем, що практично не спостерігається в мережах з пуассоновским розподілом.

Відстань між вузлами визначається як кількість ребер, через які можна добратися від одного вузла до іншого. Найкоротшим шляхом d_{ij} між вузлами i та j називається найменша відстань між ними. Для усієї мережі можна ввести поняття середнього шляху, як середнього по усіх парах вузлів найкоротшої відстані між ними: $l = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i>j} d_{ij}$, де n – кількість вузлів, d_{ij} - найкоротша відстань між вузлами i та j .

Угорськими математиками П. Ердемем і А. Реньї було показано, що середня відстань між двома вершинами у випадковому графові (модель Ердеша-Реньї) росте як логарифм від числа його вузлів [3, 4].

Мережа може виявитися незв'язною, тобто знайдуться вузли, відстань між якими виявиться нескінченною. Відповідно, середній шлях, згідно приведеної вище формули, буде також нескінченним. Для врахування таких випадків вводиться поняття середнього інверсного шляху між вузлами (його ще називають «глобальною ефективністю мережі»), що розраховується за формулою [3, 4]:

$$il = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i>j} \frac{1}{d_{ij}}$$

Зворотна величина глобальної ефективності – середнє гармонійне геодезичних відстаней: $h = 1 / il$. Один із способів знайти критичні компоненти мережі – пошук найбільш уразливих вузлів. Уразливість мережі від вузла може бути визначена як спад глобальної ефективності мережі в разі видалення вузла і всіх суміжних йому ребер з мережі: $V_i = (il - il_i) / il$, де il – глобальна ефективність вихідної мережі, а il_i – глобальна ефективність після видалення вузла i та всіх суміжних йому ребер.

Впорядкований розподіл вузлів щодо цієї величини пов'язаний зі структурою всієї мережі. Таким чином, вузол, який найбільш сильно впливає на вразливість мережі, займає найвищу позицію в мережевій ієрархії. Міра уразливості мережі – максимальна уразливість від всіх вузлів: $V = \max V_i$.

Д. Уоттс і С. Стратц у 1998 році визначили такий мережевий параметр, як **коефіцієнт кластерності**, який характеризує рівень зв'язності вузлів в мережі, тенденцію до утворення груп взаємопов'язаних вузлів, так званих клік (*clique*) [2]. Для конкретного вузла коефіцієнт кластеризації показує, скільки найближчих сусідів даного вузла є також найближчими сусідами один для одного. Коефіцієнт кластерності може визначатися як для кожного вузла, так і для всієї мережі. Для мережі

коефіцієнт кластерності визначається як нормована по кількості вузлів сума відповідних коефіцієнтів для окремих вузлів. Коефіцієнт кластерності для окремого вузла мережі визначається таким чином. Нехай з вузла виходять ребра, які з'єднують його з іншими вузлами, найближчими сусідами. Якщо припустити, що всі найближчі сусіди з'єднані безпосередньо один з одним, то кількість ребер між ними становить $1/2 k(k-1)$ – це число, яке відповідає максимально можливій кількості ребер, якими могли б з'єднуватися найближчі сусіди обраного вузла. Відношення реальної кількості ребер, які сполучають найближчих сусідів вузла i , до максимально можливого (такому, при якому усі найближчі сусіди цього вузла були б сполучені безпосередньо один з одним) називається коефіцієнтом кластерності вузла – $C(i)$.

Посередництво (*betweenness*) – це параметр вузла, що показує, скільки найкоротших шляхів проходить через нього [2, 5, 6]. Ця характеристика відображає роль даного вузла у встановленні зв'язків у мережі. Вузли з найбільшим посередництвом грають головну роль у встановленні зв'язків між іншими вузлами в мережі. Посередництво b_m вузла m визначається за формулою:

$$b_m = \sum_{i \neq j} \frac{B(i,m,j)}{B(i,j)},$$

де $B(i,j)$ – загальна кількість найкоротших шляхів між вузлами i та j , $B(i,m,j)$ – кількість найкоротших шляхів між вузлами i та j , що проходять через вузол m .

Модулярність [4] – один з мережевих параметрів, який був введений для вимірювання ступеня розбиття мережі на модулі (кластери, кліки). Він обчислюється як різниця між часткою ребер всередині кластера в розглянутій мережі і очікуваною часткою ребер всередині кластера в мережі, в якій вершини мають той же степінь, що і у вихідній, але ребра розподілені випадково.

Для розрахунку модулярності використовується поняття матриці суміжності. Матриця суміжності A складається з елементів A_{vw} , значення яких дорівнюють 0, якщо вузол v не сполучений з вузлом w , і вазі зв'язку між v і w , якщо ці вузли сполучені між собою.

Модулярність мережі можна виразити формулою:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{v,w} \left[A_{vw} - \frac{k_v k_w}{2m} \right] \delta(c_v, c_w),$$

де A_{vw} – елемент матриці суміжності A , m – кількість ребер у графі, k_v, k_w – ступені вузлів v і w відповідно, δ – дельта Кронекера (показує, чи знаходяться вузли v і w в одному модулі). Отже, модулярність – це міра якості кластеризації, на основі якої будується широкий клас алгоритмів виявлення груп в мережах.

Незважаючи на величезні розміри деяких соціальних мереж у багатьох із них існує порівняно короткий шлях між двома будь-якими вузлами – **геодезична відстань** [3, 4]. У 1967 р. психолог С. Мілграм в результаті виконаних масштабних експериментів обчислив, що існує ланцюжок знайомств, в середньому довжиною шість ланок, практично між двома будь-якими громадянами США.

Д. Уоттс і С. Стрататц [4, 7] виявили феномен, характерний для багатьох реальних мереж, названий ефектом малих світів (*Small Worlds*). При дослідженні цього феномену ними була запропонована процедура

побудови наочної моделі мережі, якій притаманний цей феномен. Три стани цієї мережі представлені на рис. 1: регулярна мережа – кожен вузол якої з'єднаний з чотирма сусідніми, тієї ж самої мережі, у якій деякі «ближні» зв'язки випадковим чином замінені «далекими» (саме в цьому випадку виникає феномен «малих світів») і випадкова мережа, в якій кількість подібних замінів перевищила певний поріг.

У реальності виявилось, що саме ті мережі, вузли яких мають водночас кілька локальних і випадкових «далеких» зв'язків, демонструють одночасно ефект малого світу і високий рівень кластеризації. На рис. 2 наведені графіки зміни середньої довжини шляху і коефіцієнта кластерності в моделі Уоттса-Стрататца

від ймовірності встановлення «далеких зв'язків» (у напівлогарифмічній шкалі).

Для аналізу складних мереж виникає необхідність використання інструментів візуалізації, у переважній більшості, вільно поширюваних, безкоштовних програм. Існує досить багато таких програм, які забезпечують візуалізацію найпростіших мережевих структур – невеликих графів [2, 4]. Серед таких програм можна назвати, наприклад, систему *uDraw (Graph)*, розроблену в Німеччині в Бременському університеті.

Для практичної роботи з графовими структурами користувачу не обов'язково потрібно встановлювати програмне забезпечення на своєму комп'ютері. Існує безліч мережевих сервісів, серед яких можна назвати сервіс *Graph Online*. *Graph Online* (<https://graphonline.ru/en/>) – простий і функціональний інструмент для створення, дослідження і візуалізації

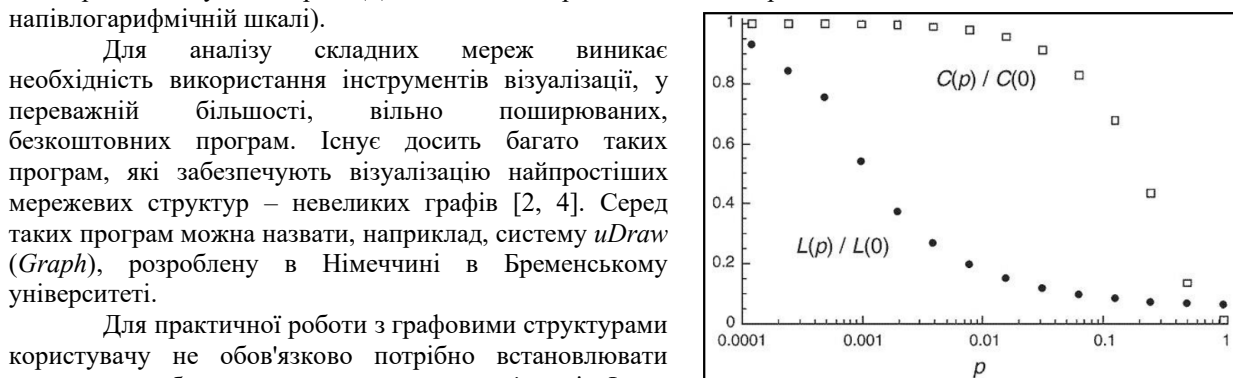


Рис. 2. Динаміка зміни довжини шляху і коефіцієнта кластерності в моделі Уоттса-Стрататца

невеликих графів в режимі онлайн. Забезпечує експорт файлів в формати *GraphML*, *CSV*, вивід інформації у вигляді матриць, а також визначення різних параметрів графу, а також реалізацію таких алгоритмів, як пошук найкоротшого шляху, компонент зв'язності, діаметру графу і т.п. У режимі онлайн за допомогою простих маніпуляцій користувач може сформувати вузли і з'єднати їх ребрами (неспрямованими, спрямованими, зв'язаними). *Graph Online* [4] дозволяє відображати в текстовому вигляді (практично в форматі *CSV*) матрицю суміжності, редагувати її, змінюючи вже створений файл. Сервіс *Graph Online* дозволяє знаходити найкоротші шляхи за алгоритмами Дейкстри, Флойда-Уоршелла, Ейлерові шляхи і цикли, визначати більшість параметрів побудованого графа.

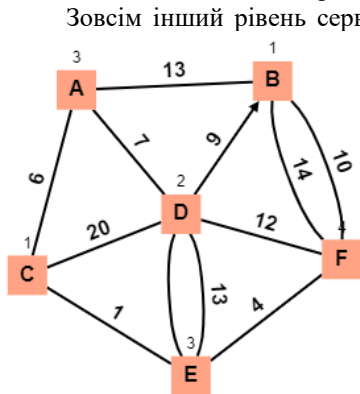


Рис. 3. Приклад графа, створеного за допомогою *Graph Online*

Зовсім інший рівень сервісу візуалізації і аналізу мережових структур надають системи, створені великими колективами розробників, зокрема, система *Graphviz* (*Graph Visualization Software*) [4]. Система *Graphviz* розроблена лабораторією AT&T і надана у вільний доступ з відкритими вихідними файлами за ліцензією *EPL* (*Eclipse Public License*). *Graphviz* працює в середовищі таких операційних систем, як *Linux*, *Mac OS*, *Microsoft Windows*. Система *Graphviz* (<http://graphviz.org/>) являє собою пакет утиліт з візуалізації графів, заданих у вигляді опису мовою *DOT*, а також додаткових текстових і графічних програм, віджетів і бібліотек, які використовуються при розробці програмного забезпечення для візуалізації структурованих даних. *Graphviz* складається з набору утиліт командного рядка і програм з графічним інтерфейсом, здатних обробляти файли мовою *DOT*, а також віджетів і бібліотек, що полегшують створення графів і програм для побудови графів.

Дуже поширеним настільним користувацьким додатком для візуалізації та аналізу мережових структур у даний час є *Social Networks Visualizer* (*SocNetV*) [2, 4, 5]. Цей безкоштовний кросплатформний програмний додаток для аналізу і візуалізації соціальних мереж, розроблений мовою C++. *SocNetV* є вільним програмним забезпеченням, ліцензованим під *GNU General Public License 3* (*GPL3*). Розробник системи – Дімітрис Каламарас (*Social Network Analysis and Visualization Software*). Вихідний програмний код програми, пакети і виконувані файли для *Windows*, *Linux* і *MacOS* доступні на веб-сайті проекту: <http://socnetv.org>. У *SocNetV* є можливості ручного введення мережі (графу) або завантаження вже існуючого мережового набору даних, представленого в форматах *GraphML*, *UCINET*, *Pajek* і т. д., обчислення статистики, значень центральності, застосування різних алгоритмів компоновання, заснованих на центральності або посередничстві (*Betweenness*) вузлів або динамічних моделей.

Найпопулярнішою програмою візуалізації і аналізу мереж та графів на сьогодні є *Gephi* (<https://gephi.org/>) [2, 4]. *Gephi* забезпечує швидку компоновку, ефективну фільтрацію та інтерактивне дослідження даних, а також є одним з кращих варіантів для візуалізації великомасштабних мереж. *Gephi* – це мультиплатформне програмне забезпечення, яке розповсюджується з відкритим кодом згідно з ліцензіями *CDDL 1.0* і *GNU General Public License v3*. За адресою <https://gephi.org/> доступні версії для *Mac OS X*, *Windows* і *Linux* вихідних кодів. Для роботи програми потрібна *Java v7* і вище. Розробники *Gephi* описують цю програму як «*Photoshop* для даних». *Gephi* дозволяє завантажувати дані мереж в форматах *GEXF*, *GDF*, *GML*, *GraphML*, *Pajek* (*NET*), *GraphViz* (*DOT*), *CSV*, *UCINET* (*DL*), *Tulip* (*TPL*), *Netdraw* (*VNA*) і таблиць *Excel*. Крім того, *Gephi* дозволяє експортувати дані мереж в форматах *JSON*, *CSV*, *Pajek* (*NET*), *GUESS* (*GDF*), *Gephi* (*GEFX*), *GML* та *GraphML*. Завдяки цьому *Gephi* може взаємодіяти з іншими системами аналізу і візуалізації графів.

Програма включає в себе множину різних алгоритмів компоновання (укладання графів на площині) і дозволяє налаштовувати кольори, розміри і мітки в графах. *Gephi* є інтерактивним програмним забезпеченням і надає засоби для виявлення спільнот, а також надається можливість розрахунку найкоротших шляхів або відносної відстані від будь-якого вузла до даного вузла. Плагіни від *Gephi* дозволяють розширювати її функціональність і додавати нові алгоритми, макети та інструменти вимірювань. *Gephi* має багатопотокову схему обробки даних і, таким чином, дозволяє виконувати кілька видів аналізу одночасно.

Інтерфейс користувача системи *Gephi* включає три основні розділи (вікна) [2]: а) «Лабораторія даних»: тут зберігаються всі вихідні дані про мережі, а також додаткові розрахункові значення; б) «Обробка даних»: тут відбувається велика частина операцій користувача, зокрема, ручне редагування мереж, тестування макетів, встановлення фільтрів; в) «Попередній перегляд»: тут уточнюється форма виводу графу, як правило, за допомогою набору інструментів граф допрацьовується, в тому числі, і з естетичної точки зору. У цьому ж вікні реалізований виклик експорту графа в формати *PDF*, *PNG* і *SVG*.

Існує три основні режими створення нового графа в *Gephi*:

- через інтерфейс «Граф» в режимі «Обробка»;
- через «Лабораторію даних»;
- через експорт даних графа із зовнішнього файлу (найпростіше з файлу в форматі *CSV* з роздільниками крапка з комою).

При цьому існує можливість або зафарбовувати всіх сусідів обраного вузла, або скористатися індивідуальним зафарбуванням. Також файл для графа можна підготувати в програмі *Excel*, після чого

зберегти його у форматі *CSV*. Слід звернути увагу, що перед завантаженням в *Gephi* необхідно в *CSV*-файлі поміняти усі коми («,») на крапки з комами («;»).

При аналізі великих і щільних мереж, швидке компонування (впорядкування вузлів графів) є вузьким місцем, оскільки більшість складних алгоритмів компонування є вимогливими до параметрів процесора, пам'яті і часу виконання. У той же час, *Gephi* постачається з ефективними алгоритмами компонування, такими як *Yifan-Hu*, *Force-directed*. Зокрема, алгоритм *Yifan-Hu* є ідеальним варіантом для застосування після інших, більш швидких і грубих алгоритмів. У той час, як більшість із запропонованих у *Gephi* методів можуть виконуватися протягом допустимого часу, поєднання, наприклад, *OpenOrd* і *Yifan-Hu*, дає найбільш якісні візуальні представлення [2, 4]. Звичайно, правильна параметризація будь-якого алгоритму компоновки може впливати як на час роботи, так і на результат візуалізації.



Рис. 4. Приклад розфарбування графа допомогою *Gephi*

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Сучасне дослідження мереж змінилося від аналізу невеликих графів та властивостей окремих вершин і ребер до розгляду статистичних властивостей графів (мереж). Зі зміною мети змінилися й методи аналізу. Народження «науки про мережі» відбулося внаслідок розвитку комп'ютерних технологій: *www* надає порівняно легкий доступ до баз даних з інформацією про різноманітні мережі й водночас потужність комп'ютерів дозволяє докладно їх аналізувати. У поведінці сучасних мереж провідну роль відіграє топологія, а такі об'єкти часто називають складними мережами (*complex networks*). Зазвичай ці мережі не статичні, а такі, що розвиваються, і для розуміння їхньої структури необхідно знати принципи їх еволюції.

Для розрахунків параметрів мережі в цілому використовують число вузлів, число ребер, геодезичну відстань між вузлами, середню відстань від одного вузла до іншого, щільність – відношення числа ребер в мережі до максимально можливої кількості ребер для даного числа вузлів; кількість триад, діаметр мережі (найбільшу геодезичну відстань). Структурний аналіз мереж включає: виявлення клік (підгруп, що пов'язані між собою міцніше, ніж з вузлами інших клік); виявлення компонент мережі; знаходження мостів (вузлів, при видаленні яких мережа розпадається на незв'язні частини); груп еквівалентних вузлів (які мають максимально схожі профілі зв'язку). Одним з напрямків аналізу складних мереж є їх візуалізація, яка дозволяє отримати важливу інформацію про структуру і властивості мережі без точних розрахунків. Програмні засоби аналізу складних мереж підтримують розрахунки усіх описаних параметрів вузлів, мережі в цілому, забезпечують її структурний аналіз та візуалізацію, працюють з різними форматами даних.

Література

1. Albert-Laszlo Barabasi. *Network Science*. – Cambridge University Press, 2016.
2. Аналіз соціальних мереж [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.lib.mdpu.org.ua/e-book/analiz_soc/official/index.htm
3. Зубок В.Ю. Огляд використання математичних параметрів складної мережі для аналізу топології Інтернет / В.Ю. Зубок, О.Т. Дармохвал // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. - К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2010. - Вип. 55. - С. 19-29.
4. Ланде Д.В. Візуалізація та аналіз мережевих структур : навчальний посібник / Д.В. Ланде, І.Ю. Субач; ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. - К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. - 80 с.
5. Ланде Д.В., Субач І.Ю., Бояринова Ю.Є. Основи теорії і практики інтелектуального аналізу даних у сфері кібербезпеки: навчальний посібник. – К.: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 300 с.
6. Манодж Б. С., Абхішек Чакраборті та Рахул Сінгх. Складні мережі: перспектива мереж та обробки сигналів, Пірсон, Нью-Йорк, США, 2018.
7. Снарский А.А., Ландэ Д.В. Моделирование сложных сетей: учебное пособие. – К.: Инжиниринг, 2015. – 212 с.

References

1. Albert-Laszlo Barabasi. *Network Science*. - Cambridge University Press, 2016.
2. Analysis of social networks [Electronic resource]. - Access mode: http://www.lib.mdpu.org.ua/e-book/analiz_soc/official/index.htm
3. Zubok V.Y. Review of the use of mathematical parameters of a complex network for the analysis of the Internet topology / V.Y. Zubok, O.T. Darmohval // Collection of scientific works of the Institute of Modeling Problems in Energy named after G.Y. Pukhov National Academy of Sciences of Ukraine. - K. : IPME them. G.Y. Pukhov National Academy of Sciences of Ukraine, 2010. - Issue. 55. - P. 19-29.
4. Lande D.V. Visualization and analysis of network structures: a textbook / D.V. Lande, I.Y. Subach; ISZZI KPI them. Igor Sikorsky. - K. : KPI them. Igor Sikorsky, Polytechnic Publishing House, 2021. - 80 p.
5. Lande D.V., Subach I.Y., Boyarinova Y.E. Fundamentals of the theory and practice of data mining in the field of cybersecurity: a textbook. - K. : ISZZI KPI them. Igor Sikorsky, 2018. - 300 p.
6. Manodzh B.S., Abhishek Chakraborty and Rahul Singh. *Complex Networks: The Perspective of Networking and Signal Processing*, Pearson, New York, USA, 2018.
7. Snarsky A.A., Lande D.V. *Modeling of complex networks: a textbook*. - K. : Ingeneering, 2015. - 212 p.

Рецензія/Peer review : 27.01.2022 р.

Надрукована/Printed : 27.02.2022 р.

ВОЙТКО В. В.

ORCID: 0000-0002-3329-7256

e-mail: defakfki@i.ua

БЕВЗ С. В.

ORCID: 0000-0001-5561-9036

e-mail: bevz@vntu.edu.ua

БУРБЕЛО С. М.

ORCID: 0000-0002-8554-2292

e-mail: burbelo@vntu.edu.ua

СТАВИЦЬКИЙ П. В.

ORCID ID: 0000-0002-9139-6076

e-mail: morfly3000@gmail.com

Вінницький національний технічний університет

ТЕХНОЛОГІЯ АУДІОГЕНЕРАЦІЇ СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ТА АНАЛІЗУ МУЗИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Розглянуто технологію та способи аудіогенерації в системі синтезу та аналізу музичних композицій. Серед них є функціонал награвання музичних композицій за допомогою голосу. Крім того, вхідні дані можуть бути використані як шаблон, на основі якого буде згенеровано подібну музичну композицію. Редагування відбувається за допомогою використання двовимірної площини, що визначає залежність висоти ноти від часу і має вигляд секвенсера. Для реалізації аудіосинтезу на основі шаблону використовується архітектура глибокого навчання з варіаційним аудіокодувальником, що дозволяє тренувати нейронну мережу й відтворювати дані, схожі до вхідних. Під час використання такого підходу важливим кроком є перетворення вхідних даних, які подані у вигляді необробленого аудіоформату, в спектрограму, що є зображенням, на основі якого відбувається процес тренування нейронної мережі та аудіогенерація. В результаті операцій створення музичних композицій користувач додатково може використовувати режим ручного редагування для отримання бажаної вихідної музичної композиції.

Ключові слова: аудіосинтез, спектрограма, варіаційний аудіокодувальник.

VIKTORIIA VOITKO, SVITLANA BEVZ, SERGII BURBELO, PAVLO STAVYTSKYI

Vinnytsia National Technical University

AUDIO GENERATION TECHNOLOGY OF A SYSTEM OF SYNTHESIS AND ANALYSIS OF MUSIC COMPOSITIONS

System of audio synthesis and analysis of music compositions is considered. It consists of two primary parts, the audio analysis component, and the music synthesis component. An audio generation component implements various ways of creating audio sequences. One of them is aimed to record melodies played with voice and transform them into sequences played with selected musical instruments. In addition, an audio input created with a human voice can be utilized as a seed, that is used to generate similar music sequences using artificial intelligence. Finally, a manual approach for music generation and editing is available. After automatic mechanisms for composition generation are used, the results of their work are presented on a two-dimensional plane which represents the dependence of music note pitches on time. It is possible to manually adjust the result of audio generation or create new music sequences with this approach. A creation process could be used iteratively to create multiple parallel music sequences that are to be played as a single audio composition. To implement a seed-based audio synthesis, a deep learning architecture based on a variational autoencoder is used to train a neural network that can reproduce input-like data. When using such an approach an additional important step must be considered. All the input data must be converted from a raw audio format to spectrograms which are represented as grayscale images. Moreover, the result of a sound generation is also represented in a spectrogram and therefore, must be converted back to an output audio format that can be played using speakers. This is required as using spectrograms helps to discard redundant data that raw audio format contains and thus significantly reduces resources consumption and increases overall synthesis speed.

Keywords: audio synthesis, spectrogram, variational audio encoder.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В умовах стрімкого розвитку сучасних інформаційних технологій обробка аудіоконтенту потребує нових методів та засобів аналізу аудіопотоків, розпізнавання і синтезу звукових композицій. Серед функціоналу системи синтезу та аналізу звуків є компонент генерації музичних композицій, головне призначення якого полягає в забезпеченні простого і швидкого інструментарію для створення користувачем власних мелодій. Важливою є реалізація варіативного підходу в технології аудіогенерації, що дозволяє зробити процес створення музичних композицій гнучким і, в той же час, забезпечує детальність процесу їх редагування.

Аналіз досліджень та публікацій

У роботі [1] наведено приклад системи WaveNet, що виконує генерацію аудіо різного призначення. Її особливістю є те, що в якості вхідних даних тут використовується необроблений аудіоформат. У результаті роботи цієї системи генеруються вихідні дані в аудіоформаті. Система WaveNet, у тому числі, використовується для реалізації конвертації тексту в аудіомовлення людини. Іншим прикладом системи, що

реалізує аудіосинтез, є система Jukebox [2], яка призначена для генерації музичних послідовностей. Аналогічно з попереднім прикладом, в якості вхідних даних така система використовує необроблений аудіоформат, а результатом є згенерована в такому ж форматі аудіокомпозиція. У роботі [3] описано проект DrumGAN, який бере за основу підхід обробки вхідних даних у вигляді спектрограм, а на виході генерує звуки барабанних інструментів. Наведені дослідження розглядають відомий функціонал аудіогенерації, проте не дозволяють поєднувати і ефективно комбінувати низку підходів для генерації музичних композицій, зокрема награвання мелодій за допомогою голосу, генерацію композицій на основі шаблону, награного голосом, та ручне точне редагування паралельних музичних послідовностей для створення інтуїтивного та ефективного рішення.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є удосконалення технології аудіогенерації системи синтезу та аналізу музичних композицій за рахунок використання комплексного підходу до створення й обробки аудіоконтенту, що дозволяє розширити функціонал системи.

Виклад основного матеріалу

Система синтезу та аналізу музичних звуків реалізує функціонал створення музичних композицій і дозволяє користувачеві використовувати три способи генерації аудіоконтенту (рис 1).

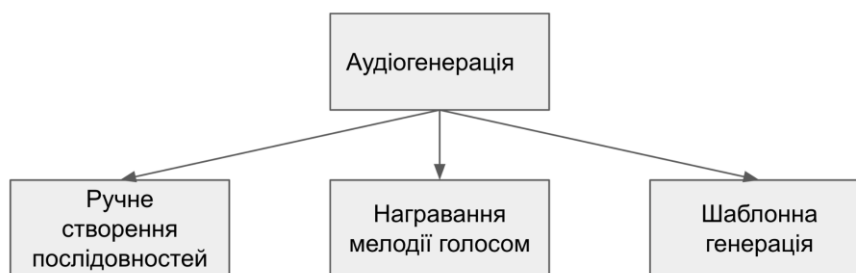


Рис. 1. Способи генерації музичних композицій

Перший спосіб полягає у ручному створенні музичних композицій. Редагування виконується за допомогою двовимірної площини, де вісь ОХ визначає часову шкалу, а вісь ОУ – висоту звуку або ноту [4]. Такий підхід є універсальним способом створення музичних композицій та задає загальний фреймворк, на якому базуються всі інші варіанти аудіогенерації системи.

Другий спосіб звукової генерації полягає у можливості награвання голосом мотиву або мелодії бажаної музичної композиції, що системою буде перетворено на музичну послідовність. Згенерована послідовність подається у вигляді, придатному для ручного корегування. Таким чином, користувач має змогу генерувати композицію, виконуючи декілька ітерацій награвання мелодій та, за потреби, завершаючи процес синтезу композиції ручним її редагуванням. У результаті створення декількох паралельних аудіодоріжок існує можливість вибору музичного інструмента, за допомогою якого кожна з них буде відіграна [5].

Третій спосіб аудіогенерації полягає у використанні награної або введеної музичної послідовності як шаблону для подальшої генерації схожої мелодії. Аналогічно до попереднього способу, після генерації мелодії, у користувача є можливість ручного редагування композиції та вибору конкретного музичного інструмента, за допомогою якого складова мелодії буде відіграна.

Таким чином, у розпорядженні користувача є три інструменти аудіогенерації, що в технології генерації звуку доповнюють один одного шляхом їх комбінованого використання для синтезу бажаних мелодій.

Для реалізації компонента шаблонної аудіогенерації необхідно побудувати нейронну мережу, яку потрібно тренувати на реальних наборах даних звучання різних музичних інструментів та композицій, побудованих за допомогою них. На основі таких даних можна реалізувати можливість генерації аудіо з урахуванням особливостей звучання різних музичних інструментів, а також різних музичних стилів.

Під час реалізації компонента генерації аудіокомпозицій модуль обробки вхідних даних може приймати інформацію у двох різних форматах: необроблений звук і спектрограма.

Перевагою першого підходу є відсутність потреби попередньої обробки чи адаптації вхідного контенту та постобробки результату, оскільки робота проводиться безпосередньо зі звуковими даними у форматі «.wave». Проте, недоліком такої реалізації є те, що кожного разу нейронна мережа повинна обробити значний обсяг даних, що є ресурсо- та часозатратним. Крім того, такий формат даних містить велику кількість надлишкової інформації, що не є корисною під час обробки, тому доречно було б позбавитися зайвих «шумів» для підвищення ефективності роботи системи.

При використанні спектрограм у якості вхідних даних для обробки, необхідно додатково реалізувати компоненти генерації спектрограм з необробленого аудіозвуку. Крім того, при такому підході в результаті система видає спектрограму, яку знову необхідно конвертувати в звукові послідовності. Для

зручності та подальшої оптимізації спектрограми можуть бути використані у чорно-білому форматі, оскільки цього достатньо для якісної обробки даних (рис 2).



Рис. 2. Процес аудіогенерації

Під час награвання мелодії голосом створюється файл у необробленому аудіоформаті, який перетворюється на спектрограму та передається у модуль аудіогенерації. В результаті роботи цього модуля генерується спектрограма, яку, в свою чергу, необхідно конвертувати у звукові послідовності для можливості формування музичної композиції.

Реалізація такого підходу передбачає використання варіаційного автокодувальника [6] в якості архітектури нейронної мережі, що відповідає за аудіосинтез (рис 3).

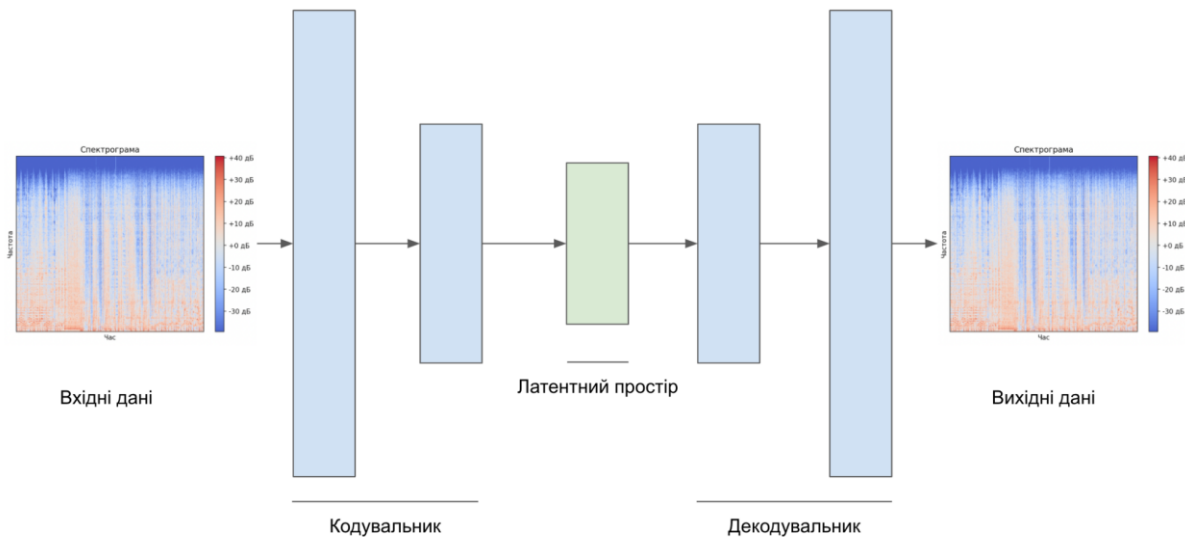


Рис. 3. Модуль аудіогенерації з використанням варіаційного автокодувальника

Цей підхід полягає у використанні нейронної мережі, яка складається з базових компонентів: кодувальника і декодувальника, що є симетричними один одному. Крім того, їх з'єднує вузьке місце, що називається латентним простором. У результаті роботи кодувальника відбувається компресія вхідних даних за рахунок зменшення кількості нейронів на прошарку нейронів. А декодувальник має змогу декодувати дані латентного простору та відтворювати вихідні дані. Перевагою використання варіаційного кодувальника є врахування ним розходження Кульбака-Лейблера, що покращує характеристики відтворення першочергових даних.

Для реалізації такого підходу необхідні першочергові дані для тренування мережі. Тут доцільно використати готові набори даних, серед яких можна виділити NSynth від Magenta, що є високоякісним набором анотованих музичних нот, та MAESTRO від Magenta, що фокусується на звуках фортепіано.

Результуюча музична композиція C може бути побудована за допомогою формули (1):

$$C = \sum_{i=0}^n (f_{templ}(f_{hum}(X, E), E)) + M \tag{1}$$

- де n – кількість паралельних музичних послідовностей багатоголосої музичної композиції;
- X – необроблена музична послідовність, створена шляхом награвання мелодії голосом користувача;
- E – конфігурація згенерованої музичної послідовності, що, в тому числі, визначає музичний інструмент, яким звукова послідовність буде відіграна;
- f_{hum} – музична послідовність, згенерована шляхом награвання мотиву мелодії голосом;
- F_{templ} – музична послідовність, згенерована шляхом створення стилістично схожої музичної послідовності на основі шаблону як аргумента;
- M – набір модифікацій робочої області секвенсера, зроблений користувачем вручну до або після процесу аудіогенерації.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Удосконалена технологія аудіогенерації системи синтезу та аналізу музичних композицій орієнтована на використання комплексного підходу до створення й обробки аудіоконтенту, дозволяє розширити функціонал аудіосистеми. Запропоновані до використання способи аудіогенерації системи синтезу та аналізу музичних послідовностей дозволяють отримувати вхідний контент різними шляхами, що розширює можливості використання системи. Зокрема, спосіб награвання мелодій музичних композицій голосом у результаті роботи системи забезпечує їх відтворення за допомогою обраного музичного інструмента. Підхід шаблонної аудіогенерації дозволяє за допомогою початкового шаблону генерувати мелодію, подібну за стилем. У результаті ручного створення музичних композицій, користувач має можливість самостійно створювати і редагувати фрагменти композиції, використовуючи двовимірну площину, що характеризує залежність висоти музичної ноти від часу. Поєднання вказаних способів аудіогенерації дозволяє адаптувати процес синтезу та аналізу музичних композицій до умов створення вхідного контенту.

Література

1. Van Den Oord, A., Dieleman, S., Zen, H., Simonyan, K., Vinyals, O., Graves, A., Kalchbrenner, N., Senior, A.W. and Kavukcuoglu, K., 2016. WaveNet: A generative model for raw audio. SSW, 125, p.2.
2. Dhariwal, P., Jun, H., Payne, C., Kim, J.W., Radford, A. and Sutskever, I., 2020. Jukebox: A generative model for music. arXiv preprint arXiv:2005.00341.
3. Nistal, Javier, Stefan Lattner, and Gael Richard. "DrumGAN: Synthesis of drum sounds with timbral feature conditioning using Generative Adversarial Networks." arXiv preprint arXiv:2008.12073 (2020).
4. Viktoriia V. Voitko, Svitlana V. Bevez, Sergii M. Burbelo, Pavlo V. Stavytskyi, Bogdan Pinaiev, Zbigniew Omiotek, Doszhon Baitussupov, and Aigul Bazarbayeva "Automated system of audio components analysis and synthesis", Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018, 110450V (15 March 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2522313>
5. Viktoriia V. Voitko, Svitlana V. Bevez, Sergii M. Burbelo, Pavlo V. Stavytskyi, Oleksandr M. Khoshaba, Natalia O. Rysynets, Olena Yu. Teplova, Andrzej Smolarz, Saule Smailova, Assel Mussabekova, and Bakhyt Yerallyeva "Analysis of the development approaches of the system of audio synthesis and recognition with the option of using photonic processors", Proc. SPIE 12040, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2021, 120400N (3 November 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2611464>
6. Foster, David. Generative deep learning: teaching machines to paint, write, compose, and play. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2019. Print.

References

1. Van Den Oord, A., Dieleman, S., Zen, H., Simonyan, K., Vinyals, O., Graves, A., Kalchbrenner, N., Senior, A.W. and Kavukcuoglu, K., 2016. WaveNet: A generative model for raw audio. SSW, 125, p.2.
2. Dhariwal, P., Jun, H., Payne, C., Kim, J.W., Radford, A. and Sutskever, I., 2020. Jukebox: A generative model for music. arXiv preprint arXiv:2005.00341.
3. Nistal, Javier, Stefan Lattner, and Gael Richard. "DrumGAN: Synthesis of drum sounds with timbral feature conditioning using Generative Adversarial Networks." arXiv preprint arXiv:2008.12073 (2020).
4. Viktoriia V. Voitko, Svitlana V. Bevez, Sergii M. Burbelo, Pavlo V. Stavytskyi, Bogdan Pinaiev, Zbigniew Omiotek, Doszhon Baitussupov, and Aigul Bazarbayeva "Automated system of audio components analysis and synthesis", Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018, 110450V (15 March 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2522313>
5. Viktoriia V. Voitko, Svitlana V. Bevez, Sergii M. Burbelo, Pavlo V. Stavytskyi, Oleksandr M. Khoshaba, Natalia O. Rysynets, Olena Yu. Teplova, Andrzej Smolarz, Saule Smailova, Assel Mussabekova, and Bakhyt Yerallyeva "Analysis of the development approaches of the system of audio synthesis and recognition with the option of using photonic processors", Proc. SPIE 12040, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2021, 120400N (3 November 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2611464>
6. Foster, David. Generative deep learning: teaching machines to paint, write, compose, and play. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2019. Print.

Рецензія/Peer review : 22.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

КАЛИТА О. Д.

ORCID ID: 0000-0003-1868-8803

e-mail: oleg.kalyta@gmail.com

Хмельницький національний університет

МЕТОД ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДІЛЯНОК ОБЛИЧЧЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗМІН ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ

Станом на тепер актуальними залишаються інформаційні системи візуального спостереження для забезпечення безпеки, що ґрунтуються на розпізнаванні змін емоційного стану людини. Для покращення роботи подібних систем у даній роботі запропоновано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя, що призначений для автоматизованого відображення мімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. Вихідними даними методу є кількісні вираження семи фігур у вигляді кількісних ознак, що застосовуються надалі для класифікації емоційних виразів обличчя. Проведено валідування запропонованого методу за допомогою гіперплощинної класифікації. Результати обчислювальних експериментів підтвердили ефективність запропонованого методу для задачі класифікації змін емоційного стану. Крім того, використання простих математичних обрахунків у нашому методі дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

Ключові слова: розпізнавання емоцій, виявлення обличчя, мімічні прояви, кількісна інтерпретація обличчя, інформаційна безпека, гіперплощинна класифікація

OLEG KALYTA

Khmelnyskyi National University

METHOD OF GEOMETRIC INTERPRETATION OF FACIAL EXPRESSIONS FOR EMOTIONS RECOGNITION

Emotional expressions serve a crucial role in interpersonal communication between people while improving social life. In particular, information security systems for visual surveillance that aim to recognize human emotional facial states are highly relevant today. Facial expressions are among the most effective and straightforward means of nonverbal interaction in systems with a human-machine interface. Despite significant scientific and engineering advances in emotion recognition, there are still several challenges in improving the performance of real-time human-machine systems that might work more effectively. In this work, a method of facial geometric feature representation is proposed to improve the operation of security systems. The method is designed to automatically reflect the facial expressions of human emotions in the form of quantitative characteristics of geometric shapes. It uses software-generated landmarks for constructing specific geometric characteristics of the face, which serve as input for the method. Our method consists in forming seven geometric shapes based on predefined landmarks, with the subsequent quantitative expression of these shapes. It was established within the method that the movement of the landmarks when changing facial expressions directly changed the value of each geometric shape. The method outputs the quantitative features of seven shapes, later used to classify emotional facial states. Finally, our method was validated using hyperplane classification. The results of computational experiments confirmed the effectiveness of the proposed method for identifying changes in a person's emotional state by facial expressions. In addition, the use of simple mathematical calculations in our method has significantly reduced the computational complexity against analogs.

Keywords: Emotion recognition, face detection, facial extractions, geometric feature, face orientation, information security, hyperplane classification

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Емоції відіграють ключову роль як у міжособистісному спілкуванні між людьми, так і під час взаємодії людина-машина. Мімічні прояви людського обличчя є одним із найбільш ефективних та простих засобів невербальної взаємодії в системах із людино-машинним інтерфейсом (ЛМІ) [1]. Проте, попри значні наукові та інженерні здобутки в галузі розпізнавання емоцій, усе ще існує низка проблем щодо покращення продуктивності систем із ЛМІ, що ефективно працюють у режимі реального часу.

Багато досліджень проведено щодо розпізнавання емоційних виразів обличчя за відеорядами. За основу в таких роботах взято систему кодування дій на обличчі (FACS), що призначена для аналізу емоційної поведінки обличчя [2]. Вона подає обличчя людини у вигляді керованих моделей одиниць дій (з англ. action units, AUs), які наразі вважаються еталонами для визначення шести різних емоційних виразів обличчя. Однак, велика кількоть одиниць дій у системі FACS накладає обчислювальну складність на метод розпізнавання виразів обличчя, що може спричинити критичні вади в реальних інформаційних системах. Подана робота спрямована на розроблення методу подання емоційних виразів людського обличчя через геометричні риси обличчя.

Для досягнення поставленої мети, у роботі розв'язано такі задачі:

1. Досліджено різні типи геометричних рис обличчя для класифікації змін емоційного стану.
2. Запропоновано метод подання мімічних проявів з використанням нових геометричних ознак.
3. Проведено експерименти із запропонованим методом та аналогами для класифікації емоцій.
4. Доведено, що геометричне подання емоційних виразів людського обличчя перевершує традиційне розпізнавання виразів обличчя з меншою обчислювальною складністю.

Аналіз досліджень та публікацій

Було проаналізовано АУ в різних формах, таких як трикутник, мережа, прямокутник, карта уваги тощо. Наприклад, у роботі [3] подано систему розпізнавання виразів обличчя на основі нейромережевого моделювання, що показує порівняно хорошу середню похибку (14,7-21,7%). Дослідження [4] пропонує нові трикутні ознаки, такі як площа та периметр, вилучені з ділянок очей, рота та носа за допомогою 12 FAUs; за таких ознак максимальна швидкість розпізнавання обличчя 94 % була досягнута в базі даних старіння FG-NET. У дослідженні [5] автори розробили систему розпізнавання емоцій на основі трикутного підходу на основі нечітких правил. Загалом у цьому дослідженні було розглянуто шість основних емоцій (щастя, гнів, страх, здивування, смуток і огида). В іншій роботі [6] використано нову модель положення 52 FAUs, як геометричних характеристик, для системи розпізнавання емоційних виразів на обличчі.

З проведеного аналізу встановлено, що в традиційних підходах до кількісної характеристики обличчя людини складність обчислень (як в обчислювальному часі, так і в пам'яті) системи розпізнавання виразу емоцій обличчя зростає пропорційно з кількістю АУ, залучених до дизайну та комбінації АУ. Отже, виникає необхідність у розробленні нового підходу до опису ознак мімічних проявів людського обличчя, які будуть обчислювальними та забезпечуватимуть високу точність розпізнавання для систем безпеки в реальному часі.

Метод геометричної інтерпретації

Запропонований метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя призначений для автоматизованого відображення мімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. У ньому на основі програмно побудованих маркерів, що позначають специфічні точки-особливості обличчя, обраховуються значення емоційних проявів. Схему запропонованого методу подано на рис. 1.

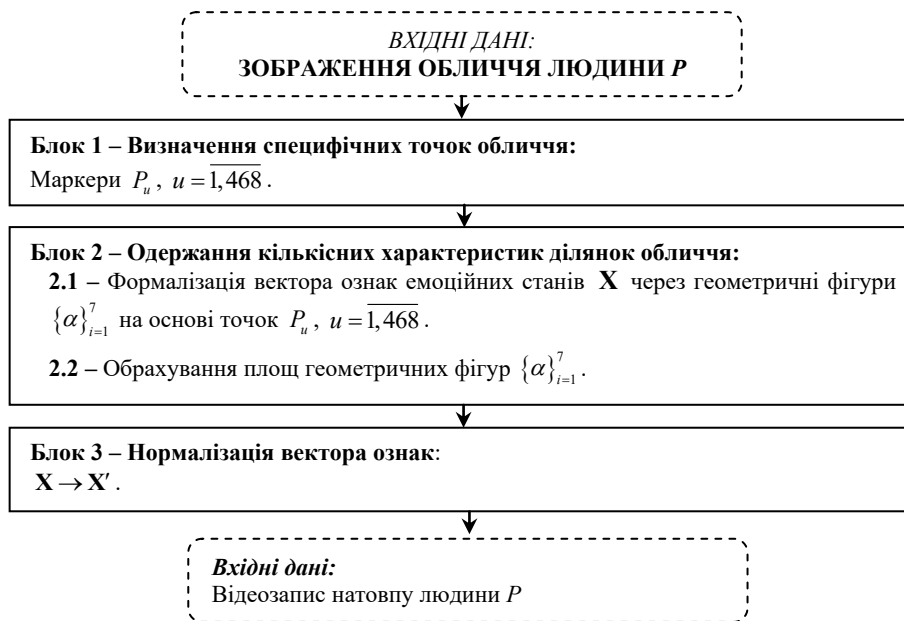


Рис. 1. Блок-схема методу геометричної інтерпретації ділянок обличчя

Вхідними даними методу є цифровий відеозапис натовпу людини.

У **Блоці 1** визначаються специфічні точки-особливості людського обличчя. Для цього використано пакет інструментів із відкритим кодом MediaPipe Face Mesh. Це рішення дає змогу програмно описувати геометрію обличчя через 468 3D-орієнтирів (маркерів), $P_u, u = 0, 467$.

У **Блоці 2** обраховуються кількісні характеристики частини обличчя.

На *кроці 2.1* вектор ознак X з формули (2.1) формалізується геометричними фігурами $\{\alpha\}_{i=1}^7$, кінці яких лежать у точках P_u . Відображення мімічних проявів емоцій якісними характеристиками є таким: α_1 – рот: відкритий / закритий / закритий або привідкритий; α_2 – кутики губ: опущені / підняті; α_3 – очі: широко розкриті / розкриті (норм) / примружені; α_4 – брови (перенісся): зведені до перенісся / нормальні; α_5 – брови: підняті вверх / нормальні; α_6 – кутики брів зовнішні: підняті / нормальні; α_7 – кутики брів внутрішні: підняті / нормальні.

На *кроці 2.2* відбувається обрахунок площ геометричних фігур $\{\alpha\}_{i=1}^7$. Відстань відрізків, що

формують фігури $\{\alpha\}_{i=1}^7$, обчисленою за формулою відстані Евкліда. Нижче наведемо детальний опис фігур $\{\alpha\}_{i=1}^7$, для кожної ознаки обличчя:

$$\alpha_1 = \sqrt{p_{1,0} (p_{1,0} - \overline{P_{17}P_{37}})(p_{1,0} - \overline{P_{37}P_{267}})(p_{1,0} - \overline{P_{267}P_{17}})}, \tag{1}$$

де
$$p_{1,0} = \frac{\overline{P_{17}P_{37}} + \overline{P_{37}P_{267}} + \overline{P_{267}P_{17}}}{2};$$

$$\alpha_2 = \frac{\overline{3P_{1^*}P_{61}}}{\overline{P_{61}P_{291}}}, \tag{2}$$

$$\alpha_3 = \overline{P_{27}P_{145}} \cdot \overline{P_{33}P_{133}}, \tag{3}$$

$$\alpha_4 = \overline{P_9P_{168}} \cdot \overline{P_{107}P_{336}}, \tag{4}$$

$$\alpha_5 = \sqrt{p_{5,0} (p_{5,0} - \overline{P_1P_{105}})(p_{5,0} - \overline{P_{105}P_{334}})(p_{5,0} - \overline{P_{334}P_1})}, \tag{5}$$

де
$$p_{5,0} = \frac{\overline{P_1P_{105}} + \overline{P_{105}P_{334}} + \overline{P_{334}P_1}}{2}.$$

Кількісною характеристикою α_6 є довжина відрізка $\overline{P_{63}P_{145}}$.

Кількісною характеристикою α_7 є довжина відрізка $\overline{P_{66}P_{145}}$.

У **Блоці 3** виконується нормалізація вектора ознак **X** за формулою:

$$x'_i = \frac{\alpha_i - \alpha_{i\min}}{\alpha_{i\max} - \alpha_{i\min}}, \tag{6}$$

де α_i – кількісна характеристика i -ої ознаки, $i = \overline{1,7}$, $\alpha_{i\min}$ – мінімальне значення i -ої характеристики, визначено емпірично, $\alpha_{i\max}$ – максимальне значення i -ої характеристики, визначено емпірично, x'_i – нормалізоване значення i -ої ознаки, $x'_i \in \mathbf{X}'$, $x'_i \in [0;1]$.

Вихідними даними запропонованого методу є нормалізований вектор ознак **X'**, що використовується для подальшої ідентифікації емоційних станів. Отже, метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя дає змогу відобразити обличчя людини, виявлене на відеозаписі, у нормалізований вектор ознак **X'**. Для тестування запропонованого методу використано еталонний набір даних ADFES [7].

Результати експериментів

Спершу до навчального набору даних застосовано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя. Вхідними даними методу слугують 110 зображень людських обличчя набору даних ADFES, класифікованими за 5 емоціями. В результаті застосування запропонованого методу отримано матрицю нормалізованих значень $\mathbf{X}' = (x'_{ijk})$, $i = \overline{1,7}$ – ознаки ділянок обличчя, $j = \overline{1,110}$ – об'єкти навчального набору даних, $k = \overline{1,5}$ – досліджувані емоції. Застосування методу гіперплощинної класифікації [8] до розмежування емоційних груп за мімічними проявами отримано дало змогу отримати класифікатор у вигляді роздільної гіперплощини:

$$d(\mathbf{X}') = 0,005565x'_1 + 0,002142x'_2 + 0,027011x'_3 + 0,004986x'_4 - 0,0047x'_5 - 0,01164x'_6 - 0,03891x'_7 + 0,028614. \tag{7}$$

Лінійний класифікатор (7) використано для класифікації емоційних проявів, і як наслідок, ідентифікації змін емоційного стану за мімічними проявами для систем, що відповідають вимогам безпеки. Результати класифікації, що отримані різними методами класифікації за різними методами визначення ознак змін емоційного стану наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати класифікації

Підхід визначення ознак	Точність класифікації	Зважена точність	F_1	Час, с
FACS [2]	0,764	0,696	0,581	0,045
Метод трикутників [4]	0,927	0,849	0,728	0,011
Запропонований метод	0,901	0,841	0,756	0,003

З таблиці 1 бачимо, що запропонований метод перевершив аналоги за метрикою F_1 (75,56%). Хоча метод трикутників продемонстрував вищу точність класифікації (92,73%), запропонований метод показав конкурентні результати у традиційній точності (90,01%) та збалансованої точності (84,18). Водночас використання простих математичних обрахунків у методі геометричної інтерпретації дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У роботі запропоновано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя, що призначений для автоматизованого відображення лімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. Запропонований метод полягає у формуванні семи геометричних фігур на основі побудованих маркерів із подальшим кількісним вираженням цих фігур. Вихідними даними методу є кількісні вираження семи фігур у вигляді кількісних ознак, що застосовуються надалі для класифікації емоційних виразів обличчя. Результати валідування методу підтвердили ефективність запропонованого методу для задачі класифікації змін емоційного стану. Крім того, використання простих математичних обчислень у нашому методі дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

Література

1. Saxena A. Emotion recognition and detection methods: A comprehensive survey / A. Saxena, A. Khanna, D. Gupta // *Journal of Artificial Intelligence and Systems*. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 53–79.
2. Ekman P. The facial action coding system: The manual / P. Ekman, W. V. Friesen, J. C. Hager // *UT Research Nexus eBook*. – Salt Lake City, 2002. – 527 p.
3. Терейковська Л. Метод нейромережевого розпізнавання емоцій по зображенню обличчя / Л. Терейковська // *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. – 2020. – № 40. – С. 146–152.
4. Revina I. M. MDTP: A novel multi-directional triangles pattern for face expression recognition / I. M. Revina, W. R. S. Emmanuel // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78, No. 18. – P. 26223–26238.
5. Nasir M. Fuzzy triangulation signature for detection of change in human emotion from face video image sequence / M. Nasir, P. Dutta, A. Nandi // *Multimedia Tools and Applications*. – 2021. – Vol. 80. – P. 31993–32022.
6. Barmak O. Model of the facial emotions expressions based on grouping classes of feature vectors / O. Barmak, O. Kalyta, Iu. Krak, E. Manziuk, V. Kuznetsov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Cham, 2020. – Vol. 1246. – P. 65–76.
7. van der Schalk J. Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam dynamic facial expression set (ADFES) / J. van der Schalk, S. T. Hawk, A. H. Fischer, B. Doosje // *Emotion*. – 2011. – Vol. 11, No. 4. – P. 907–920.
8. Barmak A. V. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear classifiers / A. V. Barmak, Y. V. Krak, E. A. Manziuk, V. S. Kasianiuk // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2019. – Vol. 51, No. 5. – P. 54–64.

References

1. Saxena A. Emotion recognition and detection methods: A comprehensive survey / A. Saxena, A. Khanna, D. Gupta // *Journal of Artificial Intelligence and Systems*. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 53–79.
2. Ekman P. The facial action coding system: The manual / P. Ekman, W. V. Friesen, J. C. Hager // *UT Research Nexus eBook*. – Salt Lake City, 2002. – 527 p.
3. Tereikovska L. Metod neiromerezhevoho rozpoznavannia emotsii po zobrazhenniu oblychchia / L. Tereikovska // *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. – 2020. – № 40. – С. 146–152.
4. Revina I. M. MDTP: A novel multi-directional triangles pattern for face expression recognition / I. M. Revina, W. R. S. Emmanuel // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78, No. 18. – P. 26223–26238.
5. Nasir M. Fuzzy triangulation signature for detection of change in human emotion from face video image sequence / M. Nasir, P. Dutta, A. Nandi // *Multimedia Tools and Applications*. – 2021. – Vol. 80. – P. 31993–32022.
6. Barmak O. Model of the facial emotions expressions based on grouping classes of feature vectors / O. Barmak, O. Kalyta, Iu. Krak, E. Manziuk, V. Kuznetsov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Cham, 2020. – Vol. 1246. – P. 65–76.
7. van der Schalk J. Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam dynamic facial expression set (ADFES) / J. van der Schalk, S. T. Hawk, A. H. Fischer, B. Doosje // *Emotion*. – 2011. – Vol. 11, No. 4. – P. 907–920.
8. Barmak A. V. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear classifiers / A. V. Barmak, Y. V. Krak, E. A. Manziuk, V. S. Kasianiuk // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2019. – Vol. 51, No. 5. – P. 54–64.

Рецензія/Peer review : 13.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

КРАСИЛЕНКО В. Г.

ORCID ID: 0000-0001-6528-3150

e-mail: krasvg@i.ua

Вінницький національний аграрний університет

НІКІТОВИЧ Д. В.

ORCID ID: 0000-0002-8907-1221

e-mail: diananikitovych@gmail.com

Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРАЩЕНИХ СЛІПИХ ЕЛЕКТРОННИХ ЦИФРОВИХ ПІДПИСІВ 2D ТИПУ ДЛЯ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація - У статті розглядаються аспекти застосування матричних модифікацій криптосистеми RSA для створення на основі матричних моделей та алгоритмів криптоперетворень зображень сліпих електронних цифрових підписів (СЕЦП). Перевагою запропонованих матричних моделей RSA є врахування специфіки зображень та простота адаптації до різних типів та форматів зображень. Наведені формули та алгоритмічні кроки процедур створення СЕЦП та проміжних кроків закриття, зашифрування та розшифрування зображень. Модельними експериментами у програмному середовищі Mathcad Professional, скрінами зі створених програмних модулів продемонстровані функціональні можливості та переваги процедур та алгоритмів створення покращених сліпих ЕЦП матричного типу на текстografічні документи (ТГД) конфіденційного характеру. Наведені результати моделювання процесів створення таких підписів для великоформатних документів у програмному середовищі Mathcad підтвердили адекватність запропонованих моделей перетворень та правильність функціонування та верифікації СЕЦП та дозволили визначити час та обмеження відповідних криптоперетворень.

Ключові слова: криптографія, матричні моделі, сліпі електронні цифрові підписи, Mathcad Professional, моделювання, текстografічний документ, зашифрування-розшифрування зображень, криптографічні перетворення інтенсивності зображення, нелінійна обробка.

VLADIMIR KRASILENKO

Vinnytsia National Agrarian University

DIANA NIKITOVICH

Vinnytsia National Technical University

SIMULATIONS OF IMPROVED BLIND ELECTRONIC DIGITAL SIGNATURES 2D TYPE FOR INFORMATION PROTECTION SYSTEMS

Abstract - The article considers aspects of application of matrix modifications of RSA cryptosystem for creation on the basis of matrix models and algorithms of cryptoconversions of images of blind electronic digital signatures (BEDS). The advantage of the proposed matrix models of RSA is to take into account the specifics of images and ease of adaptation to different types and formats of images. Formulas and algorithmic steps of BEDS creation procedures and intermediate steps of closing, encrypting and decrypting images are given. Model experiments in the Mathcad Professional software environment, screens from the created software modules demonstrate the functionality and advantages of procedures and algorithms for creating improved blind EDS of matrix type for textual documents (TGD) of a confidential nature. The results of modeling the processes of creating such signatures for large-format documents in the Mathcad software environment confirmed the adequacy of the proposed transformation models and the correct operation and verification of BEDS and allowed to determine the processing time and limitations of relevant cryptographic transformations. Improved BEDS take into account the specifics of TGD, adapt to different formats, have better temporal, histogram-entropy characteristics (shown an increase in the entropy of BEDS to 7.98 bits/el.).

Keywords: cryptography, matrix models, blind electronic digital signatures, Mathcad Professional, modeling, text document, encryption-decryption of images, cryptographic transformations of image intensity, nonlinear processing.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Одним з ключових питань практичного застосування криптографії є завдання створення електронних цифрових підписів (ЕЦП), їх верифікації, які є електронними відповідниками традиційних підписів і можуть при задоволенні відповідних вимог і властивостей гарантувати набагато вищий рівень безпеки, ніж традиційні. Це завдання стає ще більш актуальним та гострим в останнє десятиріччя ще прискоренішого, розширенішого використання сучасних електронних комунікацій для передачі конфіденційних текстografічних документів (ТГД), звітів та засвідчення їх підписами відповідальних осіб, нотаріусів. Документи з конфіденційною економічною інформацією часто представлені у вигляді цифрових масивів, таблиць, малюнків, графіків, діаграм, резолюцій та підписів осіб, що приймають рішення. А тому з урахуванням структури такі документи є суто ТГД. Серед низки відомих різновидів ЕЦП, таких як ЕЦП на основі RSA та з хешуванням ТГД, Ель-Гамалія, Шнорра, DSA, тощо, та таких, що вже широко застосовуються, можна відмітити незаперечні, сліпі та інші. Проте зі списку існуючих та описаних класичних шифрів та процедур створення цифрових підписів, в тому числі тих, що базуються на відповідних державних стандартах, одним з найпопулярніших методів генерування цифрових підписів, включаючи сліпі, на сьогодні є підписування за допомогою алгоритму RSA [1-4]. Оскільки для генерування відомих сліпих ЕЦП добре підходить алгоритм RSA, але тут ми зауважуємо,

що він був раніше використаний лише як скалярний, а серед швидко зростаючої великої кількості публікацій, що присвячені новим удосконаленим моделям та алгоритмам криптографічних перетворень (КП) даних, у тому числі зображень [2-4], появились роботи [5-11] стосовно КП, що зорієнтовані на матричні моделі, алгоритми та засоби паралельної обробки та спричинили активізацію досліджень і у напрямку створення ЕЦП нового матричного типу (МТ) [12-14], то саме таким ЕЦП і присвячується наша робота. При генеруванні сліпих ЕЦП документ не оприлюднюється, а сам процес відповідає ситуації, коли особа чи сторона А хоче отримати сліпий підпис нотаріуса під повідомленням чи ТГД, зміст якого нотаріус (сторона В) не повинен бачити. Недоліком більшості відомих алгоритмів і протоколів створення ЕЦП, протоколів формування ключів, систем верифікації ЕЦП, що зорієнтовані на послідовну скалярну обробку блоків ТГД, перетворених у цифрові формати, блоки яких представляються числами великої розрядності, є суттєве зниження швидкодії криптографічних процедур. Матричні моделі (ММ) КП запропоновані вперше в [5] і потім розвинені у [6-10], а модифікації системи RSA були узагальнені до 2D типу в [11], які пізніше були використані і для створення ЕЦП [12-14]. У роботі [6] були розроблені, досліджені і промодельовані цифрові сліпі підписи на основі матричних афінних шифрів, а в [7] - ЕЦП МТ (матричного типу) на базі модифікацій алгоритму RSA МТ і Ель-Гамала до МТ. Але в [7] наводилися результати моделювання таких ЕЦП МТ лише для деяких специфічних невеликих чорно-білих зображень, що обмежувало узагальнення та висновки.

Постановка задачі

Тому метою даної роботи є подальше вдосконалення, дослідження ММ при створенні сліпих ЕЦП (СЕЦП) та перевірка їх функціональних можливостей, переваг шляхом моделювання у середовищі Mathcad на конкретних ТГД з демонстрацією утворених СЕЦП, з їх гістограмно-ентропійним аналізом. Це дозволить оцінити якість, показники, особливості і сфери застосувань таких СЕЦП.

Виклад основного матеріалу, результатів дослідження

Для моделювання ми використовували різні зображення (З), ТГД, в тому числі як матриці розмірністю 704×572 елементи та ТГД формату А4. Ідея узагальнення на 2D випадок скалярного RSA та похідних від нього алгоритмів [11, 13, 14] полягає у виборі в якості ключів не скалярів, а матричних ключів (МК), процес формування яких (випадкових та обернених до них) описано в [13] і тут через обмеження детально не розглядається. Кожен елемент МК вибирається з множини значень відповідних скалярних ключів $e_{i,j}$ та $d_{i,j}$, що відповідали в деяких з наших експериментів вибраним значенням: $k = 11$, $l = 23$, $kl = k \cdot l$, $kl = 253$, а функція Ейлера дорівнювала 220. Першим фактором ускладнення розв'язування задачі обчислення дискретного логарифма за модулем є розширення задачі на 2D випадок за рахунок збільшення потужностей множин МК при їх значних розмірах, а другим фактором стало застосування для СЕЦП багатокрокових процедур, як і в RSA МТ [14], коли процедуру поелементно-матричного піднесення у степінь за 2D-модулями сторони повторюють, використовуючи узгоджені публічні та приватні МК. Скріни з вікон, формули, програмні модулі та результати моделювання у Mathcad процесу створення СЕЦП 2D типу на основі ММ RSA алгоритмів, показані на рис. 1-5.

Як видно з отриманих результатів моделювання, що показані на рис. 2, то для такого виду вибраного зображення (З), результати повністю допустимі, що підтверджується не лише візуально, але і відповідним гістограмним та ентропійним аналізом. Проте, як видно з рис. 3-4, для деяких ТГД, є неприпустимим неякісне «закриття», дивись TDK_d та DS_CTD (закритий ТГД) на рис.3 та DS_OCTD (підписаний ТГД) на рис.4. А тому нами запропоновано покращити СЕЦП введенням додаткового адитивного закриття TDK наявним публічним матричним ключем KeyAd нотаріуса. Для цього був розроблений модуль, що показаний праворуч на рис. 4, а отримані з ним кращі результати показані на рис. 5. Аналіз отриманих цим покращеним алгоритмом створення СЕЦП результатів показав, що видно також і візуально, достатнє та більш якісне формування усіх проміжних масивів (зображень). Таким чином, отримані результати моделювання підтверджують, що мета роботи досягнута і що за допомогою таких покращених сліпих ЕЦП МТ легко та криптостійко виконуються всі необхідні криптографічні перетворення ТГД формату А4 та близького до нього чи навіть значно більших масивів. Важливим аспектом для правильного функціонування таких СЕЦП є формування необхідних випадкових МК. Узгодження секретних МК різного типу розглядалися у [15-18], а тому тут не висвітлюються.

Запропонований алгоритм створення сліпого ЕЦП МТ дозволяє зробити верифікацію підпису лише при спільних діях обох сторін що створювали підпис. Крім того, запропонований алгоритм може бути покращений ще більше за рахунок подвійного, так званого нами двостороннього, закриття як TDK так і реквізитів нотаріуса, сутність якого полягає в закритті не лише повідомлення TDK, що після піднесення у степінь та подвійного по суті адитивно-мультиплікативного закриття відсилається нотаріусу, але і у аналогічному закритті реквізитів (особистих ідентифікаторів) нотаріуса при створенні таких підписів. Це ще більше підсилює надійність таких двосторонніх процедур формування покращених сліпих ЕЦП МТ та їх криптостійкість.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Виконана демонстрація функціональних можливостей, переваг запропонованих покращених алгоритмів створення сліпих ЕЦП на конфіденційні документи, наведені результати моделювання у

середовищі Mathcad процесів створення таких підписів для великоформатних документів, що підтвердили адекватність ММ, правильність їх функціонування, верифікації, досягнення покращень. Покращені С_ЕЦП враховують специфіку ТГД, адаптуються до різних форматів, мають кращі часові, гістограмно-ентропійні характеристики (показано збільшення ентропії С_ЕЦП до 7,98 біт/ел.).

```

min(KeyDA) = 1    max(KeyDA) = 252
while mod[(KeyEAi,j·s], kl) ≠ 1
    s ← s + 1

KeyAdi,j := | s ← Gi,j
              | while csd(s, ψ) ≠ 1
              | s ← s + 1
              |
KeyAei,j := | s ← 0
              | while mod[(KeyAdi,j·s], ψ) ≠ 1
              | s ← s + 1
              |

min(KeyAd) = 1    max(KeyAd) = 257
min(KeyAe) = 1    max(KeyAe) = 219

form_key_Ed
EAdi,j := | l ← 1
           | s ← KeyEAi,j
           | while l < KeyAdi,j
           |   | s ← mod(s - KeyEAi,j, kl)
           |   | l ← l + 1
           | s

encoding_zakr    Subscriber
TDKdi,j := mod(AKi,j·EAdi,j, kl)
data transfer

Notary
DS_CTDVi,j := | l ← 1
               | s ← AKi,j
               | while l < KeyAei,j
               |   | s ← mod(s·AKi,j, kl)
               |   | l ← l + 1
               | s

Digital signature of a certified document
Open Digital signature of a certified docume
DS_OCTDi,j := mod(DS_CTDi,j·KeyDAi,j, kl)
    
```

Рис.1. Формули, коментарі та програмні модулі (вікно Mathcad), що використовувались для моделювання СЕЦП 2D типу на основі RSA алгоритму

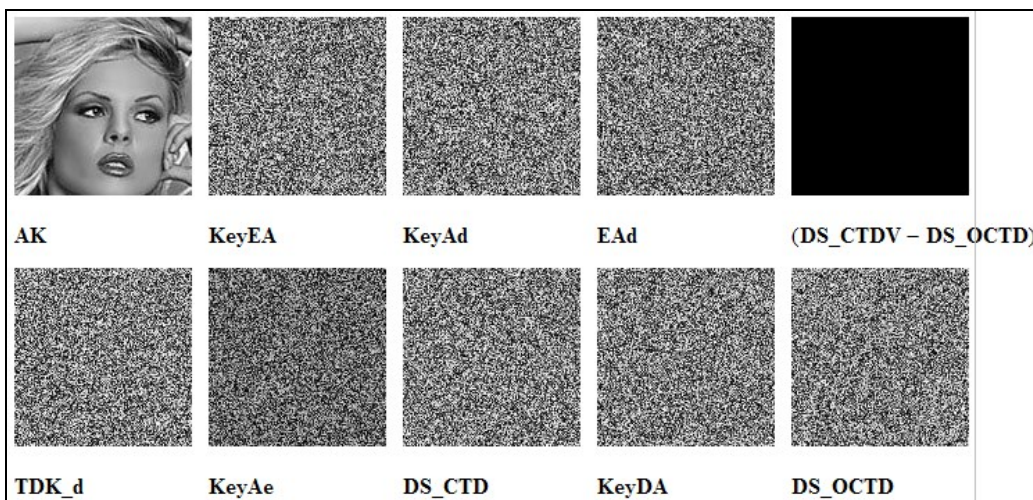


Рис.2 Результати моделювання процесів створення та верифікації СЕЦП 2D типу RSA. У верхньому ряду зліва направо: 3 для підпису, МК KeyEA для закриття 3, публічний МК KeyAd нотаріуса, створений ним МК EAd матричним піднесенням KeyEA у степінь за модулем, різницеве 3 для верифікації; у нижньому: закрите МК EAd 3 у виді TDK_d, що підписує нотаріус, його приватний МК KeyAe, закритий СЕЦП (DS_CTD), МК KeyDA (обернений до KeyEA), розкритий цим МК підписаний СЕЦП

(DS_OCTD)

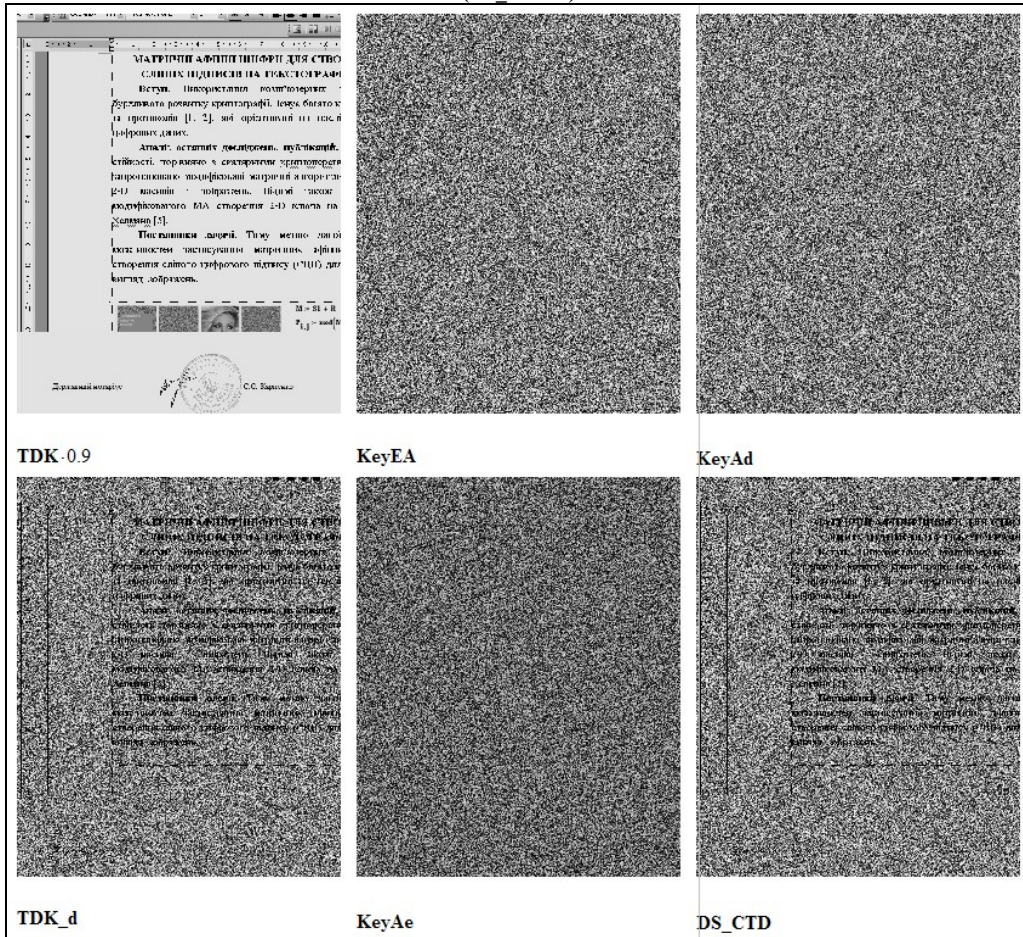


Рис.3 Результати моделювання процесів створення та верифікації СЕЦП 2D типу RSA для ТГД, що підтверджують недостатність закриття. У верхньому ряду зліва направо: скоригований ТГД для підпису, МК KeyEA для закриття ТГД, публічний МК KeyAd нотаріуса; у нижньому: закритий ТГД у виді TDK_d, що підписує нотаріус, його приватний МК KeyAe, закритий СЕЦП (DS_CTD)

KeyDA

DS_OCTD

```

TDK_Mi,j := mod(TDKi,j + KeyAei,j, kl)
min(TDK_M) = 0      max(TDK_M) = 252
TDK_eMi,j := mod(TDK_Mi,j - EAei,j, kl)
DS_CTDMVi,j := | 1 ← 1
                  | s ← TDK_Mi,j
                  | while l < KeyAdi,j
                  |   | s ← mod(s - TDK_Mi,j, kl)
                  |   | l ← l + 1
                  |   s
DS_CTDMi,j := | 1 ← 1
                | s ← TDK_eMi,j
                | while l < KeyAdi,j
                |   | s ← mod(s - TDK_eMi,j, kl)
                |   | l ← l + 1
                |   s
DS_OCTDMi,j := mod(DS_CTDMi,j - KeyDAi,j, kl)
VDS_CTDMi,j := | 1 ← 1
                | s ← DS_OCTDMi,j
                | while l < KeyAei,j
                |   | s ← mod(s - DS_OCTDMi,j, kl)
                |   | l ← l + 1
                |   s
TDK_MVi,j := mod(VDS_CTDMi,j - KeyAei,j + kl, kl)
            
```

Результати неправильної роботи, нижній ряд: МК KeyDA (обернений до KeyEA), розкритий цим МК підписаний С_ЕЦП (DS_OCTD)

Рис.4 Результати (ліворуч) моделювання СЕЦП для ТГД про недостатність закриття та додатково введений програмний

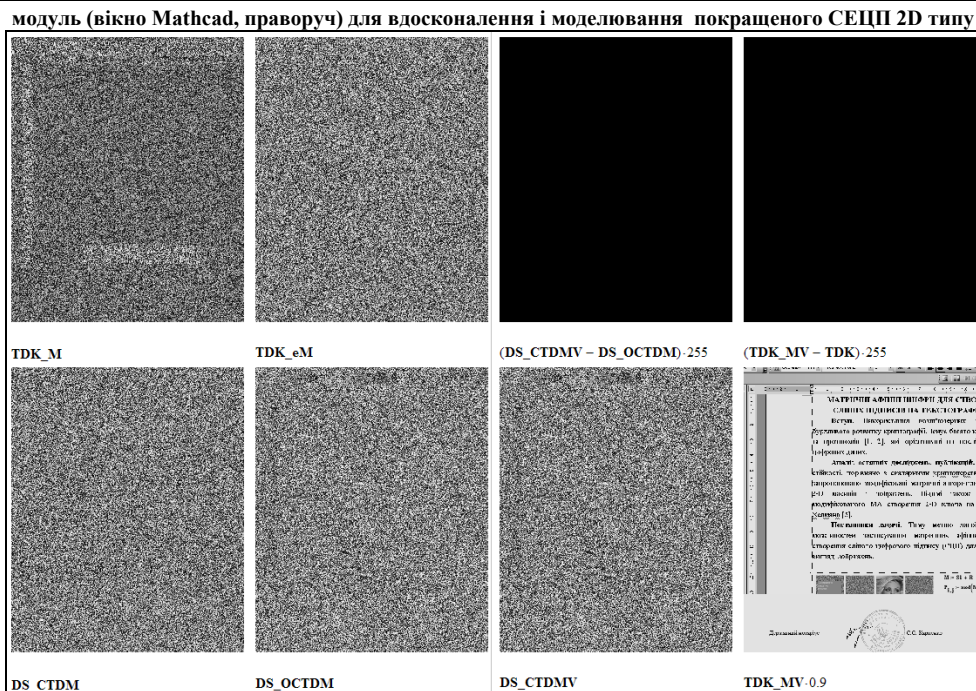


Рис.5 Матриці-зображення, що формувалися в модельних експериментах та підтверджують правильну роботу процесів створення та верифікації покращеного СЕЦП 2D типу RSA. У верхньому ряду зліва направо: скоригований для підпису ТГД та зашифрований публічним МК KeyAe (TDK_M), закритий МК KeyEA (TDK_eM), верифікаційні різниці; у нижньому: закритий СЕЦП (DS_CTD), розкритий підписаний СЕЦП (DS_OCTDM), перевірені підписи

Література

1. Хорошко В.О. Методи та засоби захисту інформації: навч. Посібник / В.О. Хорошко, А.О. Четков. – К.: Юніор, 2003. – 502 с.
2. Ємець В. Сучасна криптографія: Основні поняття / В. Ємець, А. Мельник, Р. Попович. – Львів: БаК, 2003. – 144 с.: іл.
3. 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.
4. Коркішко Т. Алгоритми та процесори симетричного блокового шифрування / Т. Коркішко, А. Мельник, В. Мельник. – Львів: БаК, 2003. – 168 с.
5. Красиленко В.Г. Моделювання матричних алгоритмів криптографічного захисту / В.Г. Красиленко, Ю.А. Флавицька // Вісн. нац. ун-ту "Львів. політехнік". - 2009. - № 658. - С. 59-63.
6. Красиленко В.Г. Матричні афінні шифри для створення цифрових сліпих підписів на текстографічні документи / В.Г. Красиленко, С.К. Грабовляк // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 7(97). – С. 60 – 63.
7. 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. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2012_2_3_15
8. 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.
9. 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: збірник наукових праць. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2015. – Вип. 6. – С 111-127.
10. 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: наук. журн. – Луцьк: Видавництво Луц. нац. техн. ун-т., 2016. – № 23. – С. 31-36. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ki.lutskntu.com.ua/node/132/section/9> .
11. Красиленко В.Г. Модифікації системи RSA для створення на її основі матричних моделей та алгоритмів для зашифрування та розшифрування зображень / В.Г. Красиленко, С.К. Грабовляк // Системи обробки інформації. – 2012. – №8(106). – С.102-106.
12. Красиленко В.Г. Моделювання сліпих електронних цифрових підписів матричного типу на конфіденційну текстографічну документацію / В.Г. Красиленко, Р. О. Яцковська, С. К. Грабовляк, // I Міжнародна науково-методична конференція, Вінниця: ВНАУ, 2012. – С.103-107.
13. 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. Трифонова, // Системи обробки інформації. – 2013. – Вип. 3(110). – Т. 2. – С. 18 – 22.

14. Красиленко В.Г. Вдосконалення та моделювання електронних цифрових підписів матричного типу для текстографічних документів / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Матеріали VI МПК «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ-Одеса-2017), Одеський національний морський університет, – Одеса: 2017. - С. 312 -318.

15. Красиленко В.Г. Алгоритми формування двовимірних ключів для матричних алгоритмів криптографічних перетворень зображень та їх моделювання / В.Г. Красиленко, В.І., Яцковський, Р.О. Яцковська // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 8(106). – С. 107-110.

16. Красиленко В.Г. Моделювання протоколів 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.

17. Красиленко В. Г., Юрчук Н. П, Нікітович Д. В. Застосування ізоморфних матричних представлень для моделювання протоколу узгодження секретних ключів-перестановок значної розмірності. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Хмельницький, 2021, Вип. № 2. С. 78-88. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/32827/83207.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

18. Красиленко В. Г., Нікітович Д. В. Криптографічний кооперативний протокол узгодження ізоморфно представленого спільного секретного матричного ключа-перестановки великої розмірності: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ), 24– 26 вересня 2020 р. Одеса, 2020. С. 45-50. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30698>

References

1. Khoroshko V.O. Metody ta zasoby zakhystu informatsii: navch. Posibnyk / V.O. Khoroshko, A.O. Chetkov. – K.: Yuniur, 2003. – 502 s.

2. Yemets V. Suchasna kryptohrafiia: Osnovni poniattia / V. Yemets, A. Melnyk, R. Popovych. – Lviv: BaK, 2003. – 144 s.: il.

3. 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.

4. Korkishko T. Alhorytmy ta protsesory symetrychnoho blokovooho shyfruvannia / T. Korkishko, A. Melnyk, V. Melnyk. – Lviv: BaK, 2003. – 168 s.

5. Krasilenko V.G. Modeliuvannia matrychnykh alhorytmiv kryptohrafichnoho zakhystu / V.G. Krasilenko, Yu.A. Flavvtska // Visn. nats. un-tu "Lviv. politehnik". - 2009. - № 658. - S. 59-63.

6. Krasilenko V.G. Matrychni afinni shyfry dlia stvorennia tsyfrovyykh slipykh pidpysiv na tekstohrafichni dokumenty / V.G. Krasilenko, S.K. Hrabovliak // Systemy obrobky informatsii. – Kh.: KhUPS, 2011. – Vyp. 7(97). – S. 60 – 63.

7. Krasilenko V.G. Matrychni afinno-perestanovochni alhorytmy dlia shyfruvannia ta deshyfruvannia zobrazen / V.G. Krasilenko, S.K. Hrabovliak // Systemy obrobky informatsii. - 2012. - Vyp. 3(2). - S. 53-61. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2012_2_3_15

8. Krasilenko V.G. Kryptohrafichni peretvorennia zobrazen na osnovi matrychnykh modelei perestanovok z matrychno-bitovozrizovoiu dekompozitsiieiu ta yikh modeliuvannia / V.G. Krasilenko, V.M. Dubchak // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2014. – № 1. – S. 74-79.

9. Krasilenko V.G. Modeliuvannia ta doslidzhennia kryptohrafichnykh peretvoren zobrazen na osnovi yikhnoi matrychno-bitovozrizovoi dekompozitsii ta matrychnykh modelei perestanovok z verifyfikatsiieiu tsilnosti / V.G. Krasilenko, D.V. Nikitovich // Elektronika ta informatsiini tekhnologii: zbiymk naukovykh prats. – Lviv: Lvivskiy natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka, 2015. – Vyp. 6. – S 111-127.

10. Krasilenko V.G. Modeliuvannia kryptohrafichnykh peretvoren kolorovykh zobrazen na osnovi matrychnykh modelei perestanovok zi spektralnoi ta bitovo-zrizovoiu dekompozitsiieiu / V.G. Krasilenko, D.V. Nikitovich // Kompiuterno-intehrovani tekhnologii: osvita, nauka, vyrobnytstvo: nauk. zhurn. – Lutsk: Vydavnytstvo Luts. nats. tekhn. un-t., 2016. – № 23. – S. 31-36. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://ki.lutskntu.com.ua/node/132/section/9>.

11. Krasilenko V.G. Modyfikatsii systemy RSA dlia stvorennia na yii osnovi matrychnykh modelei ta alhorytmiv dlia zashyfruvannia ta rozshyfruvannia zobrazen / V.G. Krasilenko, S.K. Hrabovliak // Systemy obrobky informatsii. – 2012. – №8(106).–S.102-106.

12. Krasilenko V.G. Modeliuvannia slipykh elektronnykh tsyfrovyykh pidpysiv matrychnoho typu na konfidentsiinu tekstohrafichnu dokumentatsiiu / V.G. Krasilenko, R.O. Yatskovska, S.K. Hrabovliak, // I Mizhnarodna naukovo-metodychna konferentsiia, Vinnytsia: VNAU, 2012. – S.103-107.

13. Krasilenko V.G. Demonstratsiia protsesiv stvorennia slipykh elektronnykh tsyfrovyykh pidpysiv na tekstohrafichnu dokumentatsiiu na osnovi modelei matrychnoho typu / V.G. Krasilenko, R.O. Yatskovska, Yu.M. Trifonova, // Systemy obrobky informatsii. – 2013. – Vyp. 3(110). – Т. 2. – С. 18 – 22.

14. Krasilenko V.G. Vdoskonalennia ta modeliuvannia elektronnykh tsyfrovyykh pidpysiv matrychnoho typu dlia tekstohrafichnykh dokumentiv / V.G. Krasilenko, D.V. Nikitovich // Materialy VI МПК «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ-Одеса-2017), Одеський національний морський університет, – Одеса: 2017. - S. 312 -318.

15. Krasilenko V.G. Alhorytmy formuvannia dvovymyrykh kluchiv dlia matrychnykh alhorytmiv kryptohrafichnykh peretvoren zobrazen ta yikh modeliuvannia / V.G. Krasilenko, V.I., Yatskovskiy, R.O. Yatskovska // Systemy obrobky informatsii. – Kh.: KhUPS, 2012. – Vyp. 8(106). – S. 107-110.

16. Krasilenko V.G. Modeliuvannia protokoliv uzgodzhennia sekretnoho matrychnoho klucha dlia kryptohrafichnykh peretvoren ta system matrychnoho typu / V.G. Krasilenko, D.V. Nikitovich // Systemy obrobky informatsii. – 2017. – Vyp. 3 (149). – S 151-157.

17. Krasilenko V.G., Yurchuk N.P, Nikitovich D.V. Zastosuvannia izomorfnykh matrychnykh predstavlen dlia modeliuvannia protokolu uzgodzhennia sekretnykh kluchiv-perestanovok znachnoi rozmirmosti. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnytskyi, 2021, Vyp. № 2. S. 78-88. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/32827/83207.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

18. Krasilenko V.G, Nikitovich D.V. Kryptohrafichnyi kooperatyvnyi protokol uzgodzhennia izomorfno представленого спільного секретного матричного ключа-перестановки великої розмірності: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ), 24– 26 вересня 2020 р. Одеса, 2020. С. 45-50. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30698>

ЛІЩИНСЬКА Л. Б.

ORCID ID: 0000-0001-9827-1260

e-mail: LLBnFiL1@gmail.com

Вінницький національний технічний університет

ДОБРОВОЛЬСЬКА Н. В.

ORCID ID: 0000-0002-7041-7878

e-mail: natali0212@ukr.net

Вінницький торговельно-економічний інститут

Київського національного торговельно-економічного університету

ПЕРСПЕКТИВНІ ПРОГРАМНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ У БІЗНЕСІ

В роботі наведено результати дослідження перспективних програмних інструментів для аналізу даних, які можуть бути застосовані для ведення вітчизняного бізнесу, їх характеристика, визначення особливостей, переваг і недоліків різних інструментів бізнес-аналітики, рекомендацій щодо впровадження. Інструменти аналізу даних надають можливість значно покращити роботу компанії, але тільки тоді, коли при обранні інструменту, його впровадженні і підтримці враховуються всі особливості бізнес-процесів компанії. Програмні інструменти бізнес-аналітики допомагають аналізувати свої набори даних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, покращення процесів, формування і досягнення бізнес-цілей.

Ключові слова: аналіз даних, бізнес-аналітика, інтелектуальний аналіз даних, програмні інструменти.

LYUDMYLA LISHCHYNSKA

Vinnytsia National Technical University

NATALIA DOBROVOLSKA

Vinnitsa Trade and Economics Institute of Kyiv National Trade and Economics University

PROSPECTIVE SOFTWARE TOOLS FOR DATA ANALYSIS IN BUSINESS

The article presents the results of a research of promising software tools for data analysis that can be used for domestic business, their characteristics, identifying features, advantages and disadvantages of various business intelligence tools, recommendations for implementation. Data analysis tools provide an opportunity to significantly improve the company's performance, but only when the selection of the tool, its implementation and maintenance take into account all the features of the company's business processes. Business analytics software tools help you analyze your datasets to make informed management decisions, improve processes, and shape and achieve business goals. To choose the right business intelligence tools, you need to consider the most important factors: visual functionality, flexibility, integration, customization, mobility, learning requirements, pricing, IT support, cloud or local BI deployment, and more. In addition, you need to identify the functions that are most important to your company, will allow you to get a balanced option: meet current needs and anticipate further growth. The main functions offered by BI suppliers: debugging information panels; built-in analytics; functions of joint work; remote access by mobile devices; independent data preparation; advanced analytics, etc. Areas of use of data mining are virtually unlimited, in particular, its use by commercial enterprises that implement projects based on information repositories can gain significant advantages over competitors, as well as in strategic planning. Data is a powerful tool for business transformation, forcing companies to use modern business intelligence tools and seek experts to help understand, decipher and interpret hidden trends in the industry and the market. This is especially true when working with Big data.

Keywords: data analysis, business analytics, data mining, software tools.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сьогодні організація ефективного бізнесу неможлива без впровадження програмних інструментів бізнес-аналітики, які цілеспрямовані на прийняття обґрунтованих бізнес-рішень з використанням аналітичних методів та відповідних інструментів, перспективних технологій для отримання, очищення, обробки та аналізу даних, з забезпеченням доступу до них. Зі збільшенням обсягів даних про бізнес-процеси корпорацій та окремих підприємств, компанії не можуть покладатися тільки на традиційні аналітичні інструменти для аналізу великих обсягів даних, часто неструктурованих, та одержання корисної інформації для ефективнішого ведення бізнесу і формування бізнес-стратегій. Дані є потужним інструментом для трансформації бізнесу, що змушує компанії застосовувати сучасні інструменти бізнес-аналітики і шукати фахівців, які допоможуть зрозуміти, розшифрувати та інтерпретувати приховані тенденції у галузі і на ринку. Особливо це стає актуальним при роботі з Big data.

Аналіз досліджень та публікацій

Дослідженням проблем аналізу даних, зокрема інтелектуального (Data Mining), присвячені роботи низки вчених [1-8], серед яких А. Барсегян, В. Дюк, М. Купріянов, Д. Макленен, А. Самойленко, В. Степаненко, Ч. Танг, І. Холод, Х. Ромерсберг та інші. Дослідженнями, які пов'язані з використанням інтелектуального аналізу даних у вітчизняній економіці проводили В. Вуйцик, Р. Мачуга, А. Пилипенко та інші.

Проте використання методів Data Mining на вітчизняних підприємствах на сьогодні потребує подальшого дослідження, зокрема щодо впровадження перспективних програмних інструментів для аналізу даних, що обумовлює доцільність і актуальність дослідження.

Формулювання цілей статті

Метою статті є дослідження перспективних програмних інструментів для аналізу даних, які можуть бути застосовані для ведення вітчизняного бізнесу, їх характеристика, визначення особливостей, переваг і недоліків різних інструментів бізнес-аналітики, рекомендацій щодо впровадження.

Виклад основного матеріалу

Галузі використання інтелектуального аналізу даних є практично необмеженими, зокрема використання його комерційними підприємствами, що реалізують проекти на основі інформаційних сховищ даних дозволяють отримати суттєві переваги перед конкурентами, а також у стратегічному плануванні.

Для правильного вибору інструментів бізнес-аналітики компанії потрібно враховувати найважливіші фактори: візуальна функціональність, гнучкість рішень, інтеграція, налаштування, мобільність, вимоги до навчання, ціноутворення, IT-підтримка, хмарний або локальний варіант розгортання BI тощо.

Крім того, потрібно визначити функції, реалізація яких є найважливішими для вашої компанії, дозволить отримати збалансований варіант: задовольнить поточні потреби і дозволить передбачити подальше зростання. Основні функції, які пропонуються постачальниками BI: налагоджувальні інформаційні панелі (метрики у інформаційних панелях, які можна відфільтрувати за ключовими показниками ефективності (KPI); вбудована аналітика (доступ до функцій BI та аналітики); функції спільної роботи (дозволяють користувачам обмінюватися та обговорювати інформацію, результати аналізу, аналітичний вміст і візуалізації за допомогою потоків обговорень, чатів та анотацій); віддалений доступ через мобільні пристрої (груповий обмін даними асинхронно за часом і розширеними регіонами); самостійна підготовка даних (доступ до різних джерел даних, об'єднання їх, перетворення даних з використанням арифметичних, логічних операторів і функцій, автономне зберігання); розширена аналітика (інтелектуальне моделювання, інтелектуальний аналіз даних, побудова робочих процесів, можливість машинного навчання, обробка природної мови, платформи для створення користувацьких моделей) тощо.

Проведемо порівняльний аналіз найпопулярніших програмних інструментів бізнес-аналізу для вдосконалення діяльності сучасних компаній, особливості окремих інструментів узагальнемо у табл. 1.

Microsoft Power BI (<https://powerbi.microsoft.com/>) – комплексне програмне забезпечення для бізнес-аналізу об'єднує кілька програмних продуктів. Microsoft Power BI надає програмні продукти, що дозволяють інтегрувати та аналізувати дані, керувати ними, формувати звіти тощо. Основний продукт - Power BI Desktop - локальна однокористувацька версія, складається з трьох інтегрованих компонентів, що мають кожен свій інтерфейс: Power Query (редактор запитів) - виконує завантаження та очищення даних (ETL); PowerPivot (набори і моделі даних) - інтерфейс роботи з табличними даними в оперативній пам'яті, де виконуються запити до даних, агрегація, розрахунки тощо; Power View - підсистема візуалізації і формування звітів (Reporting). Power BI Services - SaaS програма, працює через Web; Power BI Embedded - версія сервісів Power BI в Azure (PaaS), призначена для розробників ПЗ, які інтегрують BI у свої програмні продукти; Power BI Mobile - мобільні версії програми для різних платформ (Android, iOS); Power BI Report Server - локальний сервер звітів, який інтегрований з Web-порталом. До найкращих характеристик можна віднести: підготовлення, аналізування, звітування і візуалізація даних, можливість самообслуговування. Ціна: Power BI Mobile, Power BI Desktop, Power BI Services – безкоштовно; Power BI Report Server, Power BI Embedded – від 9,99\$/користувач/місяць.

Отже, Microsoft Power BI містить набір програмних продуктів, необхідних від візуалізації даних і до вдосконаленого аналізу, зокрема Big Data, потокових даних тощо.

Zoho Analytics <https://www.zoho.com/analytics/> надає можливість здійснювати ефективний та економічний аналіз даних, забезпечує візуалізації даних на основі широкого спектру інструментів, його помічник працює з використанням штучного інтелекту, який дозволяє отримувати смрт-відповіді у вигляді звітів. Пропонується: шаблони звітів, інформаційні панелі, дизайнер інформаційних панелей, можливість перетягування звітів, робота із запитамі, сформованими на природній мові; інтелектуальний помічник AI. Ціна: наявний безкоштовний план; Cloud – від 22 \$/місяць (базовий); локальний – від 150\$/місяць.

Отже, Zoho Analytics забезпечує інтелектуальні висновки й прогнозування даних; використовує технології ML, AI, NLP.

RapidMiner <https://rapidminer.com/> - призначено для видобутку даних, їх підготовки, машинного й глибокого навчання, прогнозу аналітики, надає широке коло можливостей підготовки даних. Дозволяє підвищити продуктивності аналізу даних на підставі впровадження автоматизованого машинного навчання. Пропонуються продукти для аналізу даних: RapidMiner Auto Model, RapidMiner Studio, RapidMiner Radoop, RapidMiner Turbo Prep, RapidMiner Server. Ціна: 10000 рядків даних – безкоштовно; невеликий – 2500\$/користувач/рік; середній – 5000\$/користувач/рік; великий – 10000\$/користувач/рік.

Отже, RapidMiner надає у користування потужний графічний інтерфейс; простий у застосуванні; не потребує кодування; використання машинного навчання.

Sprinkle <https://www.sprinkledata.com/> - платформа без необхідності писати код, простий візуальний інтерфейс для аналізу даних з будь-яким ступенем деталізації; добре інтегрований зі сховищами даних, надає можливість створювати конвеєри даних з різноманітних джерел даних; дає змогу виконувати аналітику у реальному часі. Ціна: безкоштовно пробна версія; 1250\$/місяць.

Отже, можливість легко формувати звіти, сегменти та інформаційні панелі; аналітика у реальному часі.

HubSpot <https://www.hubspot.com> – універсальне ПЗ для вхідного маркетингу, дозволяє оцінювати ефективність маркетингових кампаній; пропонує функціонали для цільових сторінок, ведення блогів,

автоматизації маркетингу, електронної пошти, управління потенційними клієнтами й аналітики тощо.

Ціна: маркетингові інструменти з функціями HubSpot CRM – безкоштовно; Marketing Hub і Starter – від 40\$/місяць, Professional – від 800\$/місяць, Enterprise – від 3200\$/місяць.

Таблиця 1

Порівняння популярних інструментів аналізу даних

Інструмент аналізу даних	Платформа	Характеристика та особливості
Microsoft Power BI	Window, MacOS, Linux, Android, iOS	вбудовані можливості для більш ніж 100 локальних і хмарних джерел даних; підтримка DAX, Power Query, SQL, R і Python; керування та аналіз даних з використанням штучного інтелекту; інтегрування із озером даних (Azure Data Lake Storage Gen2); потокова передача даних у реальному часі з використанням API Power BI REST, інтерфейсу потокової передачі даних, Azure Stream Analytics; інтегрування з машинним навчанням Azure
Zoho Analytics	Cloud, Windows, Linux, MacOS, Android, iOS	широкий набір різновидів візуалізації: діаграми, зведені таблиці і подання, віджети KPI, спеціальні тематичні інформаційні панелі; розширена аналітика за допомогою інтелектуального асистента на підставі AI і ML, можливість обробляти запити природною мовою; мобільні програми для iOS і Android для інтерактивного аналізу динамічних даних; розумне моделювання з таблицями даних; можливість змішувати даних з різноманітних джерел для міжфункціональної аналітики
RapidMiner	Крос-платформа	немає необхідності писати код; візуальний дизайнер робочих процесів; використання великих наборів даних для навчання у Hadoop; вбудований контроль безпеки; централізоване керування робочими процесами; групування запитів і повторне використання контейнерів Spark для смарт-оптимізації процесів; командна співпраця
Sprinkle	Cloud	створення потужних інформаційних панелей і візуалізації без потреби кодування; вбудований ETL/ELT; можливість легко синхронізувати дані з великої кількості джерел; конструктора моделей для формування показників бізнесу; моделювання даних безпосередньо на таблицях; немає потреби завантаження даних у BI; вбудована аналітика
HubSpot	Windows, MacOS, Android, iOS, Windows Phone, Web	відслідковування повного життєвого циклу клієнта з HubSpot Marketing Analytics; можливість розбиття звіту відповідно до властивостей контакту чи на рівні підприємства у базі даних; функціональність для створення подій з метою відслідковування дій, які відбулися на веб-сайті, що допомагає розуміти поведінку клієнта та запускати робочі процеси автоматизації; можливість аналізувати ефективність сайту на підставі ключових показників веб-сайту
KNIME	Windows, MacOS, Linux, Cloud	графічний інтерфейс з можливістю створювання візуальних робочих процесів; немає потреби у кодуванні; можливість поєднання інструментів з різних доменів, зокрема сценарії на R і Python, машинне навчання; інструкції для побудови робочих процесів; обробка багатьох поточкових даних; візуалізація даних; автоматизація виконання робочих процесів; підтримка спільної роботи; інтеграція з Big Data, машинним навчанням, AI і сценаріями; можливість імпорту, експорту даних та отримання доступ до них з платформ Big Data; можливість розширення своєї платформи
Tableau Public	Windows, MacOS, Інтернет, Android, iOS	можливості попереднього перегляду окремих зон інформаційної панелі, приєднання до наборів даних на підставі місцезнаходження, з Tableau Online можливість підключення до хмарних баз даних, Amazon Redshift і Google BigQuery
Orange	Крос-платформа, Windows, MacOS, Linux	інтерактивна візуалізація даних; розумна звітність з історією робочого циклу кожного віджета й візуалізації; можливість проведення дослідницького аналізу даних, значна кількість включених стандартних візуалізацій; як інтерактивну платформу візуалізації можливо обирати точки даних з діаграм розсіювання, вузлів у дереві і гілки у дендрограмі
OpenRefine	Windows, MacOS, Linux	можливість працювати з Big Data; зв'язування і розширення даних з використанням веб-служб; можливість завантажування даних у центральну базу даних з очищенням і трансформацією даних; можливість імпорту CSV, TSV, XML, RDF, JSON, таблиць Google; експорту у TSV, CSV, таблиці HTML і Microsoft Excel

Інструмент аналізу даних	Платформа	Характеристика та особливості
Looker	Cloud: AWS і GCP	надійний захист даних; встановлення дозволів і контроль доступу до даних; дані для візуалізації отримуються безпосередньо із джерела; для одержання докладнішої інформації можливість перегляду деталей рівня рядка; широка бібліотека візуалізації; можливість створення будь-якої візуалізації з використанням JavaScript; можливість налаштування звітів для Google Ads і Facebook Ads
Talend	Cloud, Windows, MacOS	дозволяє пришвидшити створення реляційних баз даних, хмарних програм тощо; аналітика у реальному часі, IoT; не потребує кодування, послуги хмарних API дозволяють створювати, тестувати і розгортати; Talend Open Studio для інтеграції даних надає можливість зіставляти, сортувати, об'єднувати, поліпшувати й об'єднувати дані; немає необхідності сценаріїв для керування файлами; Talend інтегрується з безліччю баз даних, SaaS, програмами й технологіями;
Weka	Windows, MacOS, Linux	графічний інтерфейс користувача; можливість працювати з Big Data; безліч інструментів аналізу даних: зокрема, очищення даних; формування ознак; класифікація і кластеризація; регресійний аналіз; пошук асоціативних правил; візуалізація результатів тощо
R-програмування	Windows, MacOS, UNIX, Linux	забезпечує нелінійні і лінійні методи моделювання, статистичні обчислення, оптимізацію, класифікацію, кластерний та інші методи аналізу; більшість стандартних функцій на мові R; можливість аналізу часових рядів; можливість розширення з використанням функцій і розширень; двовимірні, тривимірні графіки, гистограми, діаграми (схеми Ганта), звіти для візуалізації даних
SAP BusinessObjects BI	Веб-браузер, iOS, Android, Cloud	ключові можливості системи: звітність та аналіз; прості інструменти бізнес-аналітики для нерегламентованих запитів, звітів та аналізу у веб-середовищі для розуміння та оцінювання тенденцій та основних причин процесів; візуалізація та аналітика даних: ефективна візуалізація BI, панелі моніторингу, аналітичні програми для оцінки ризиків, підвищення ефективності, виділення унікальних відомостей і виявлення можливостей; використання функції загального доступу для обміну бізнес-інформацією з колегами і підтримки прийняття рішень в організації; інтеграція із пакетом Microsoft Office, використання інтуїтивно зрозумілих інструментів для фільтрації та обробки даних, визначення тенденцій і викидів з Microsoft Excel та обміну результатами у живих презентаціях Microsoft PowerPoint; можливість підключення до SAP Business Warehouse і SAP HANA для аналітики у реальному часі

Отже, HubSpot надає можливості для прийняття ефективних рішень, які ґрунтуються на аналізі даних.

Tableau Public <https://public.tableau.com/en-us/s/> - платформа для візуалізації даних, допомога при створінні діаграм, графіки, програм, інформаційних панелей тощо. Пропонує продукти: Tableau Server, Tableau Desktop, Tableau Prep, Tableau Online, Tableau Public й Reader. Ціна: Tableau Public – безкоштовно; Tableau Creator – 70 \$/користувач/місяць.

Отже, Tableau Public - інструмент з широким набором функцій й функціональними можливостями; простий у використанні.

KNIME <https://www.knime.com/> - дозволяє проводити аналіз даних, формування звітності; інтегрує різні компоненти для машинного навчання за допомогою концепції модульної конвеєрної обробки даних; графічний інтерфейс користувача і використання JDBC дозволяють збирати вузли, що поєднують різні джерела даних, зокрема попередню обробку, для моделювання, аналізу даних і візуалізації без необхідності програмування або лише мінімального. KNIME Analytics Platform – безкоштовне ПЗ для створення науки про дані з відкритим вихідним кодом; KNIME Server - комерційне рішення для виробництва науки про дані. Ціна: KNIME Analytics – безкоштовно; Сервер KNIME – від 8500\$.

Отже, KNIME надає широкий набір функцій й функціональних можливостей безкоштовно; працює з Microsoft Azure і AWS; простий в освоєнні; з відкритим кодом.

Orange <https://orangedatamining.com/> - безкоштовний інструментарій для аналізу і візуалізації даних, машинного навчання; система з відкритим кодом; використання візуального програмування для аналізу даних; пропонує багато алгоритмів класифікації й регресії. Ціна: безкоштовно.

Отже, Orange дозволяє створювати моделі для машинного навчання, здійснювати перевірку моделей і фільтрація даних; зручний графічний інтерфейс користувача.

OpenRefine <http://openrefine.org/> – безкоштовна програма з відкритим кодом для очищення даних й перетворення в інші формати, подібна до програм електронних таблиць і може обробляти формати файлів електронних таблиць, такі як CSV, але поводить більше як база даних; допоможе розширити дані за

допомогою зовнішніх даних і Web-служб. Ціна: безкоштовно.

Отже, OpenRefine - потужний інструмент для роботи з брудними даними: їх очищення, перетворення з одного формату в інший, розширення за допомогою Web-сервісів і зовнішніх даних; підтримує широке коло форматів файлів для експорту та імпорту.

Looker <https://looker.com/> - хмарна платформа для візуалізації, керування та аналізу даних у бізнес-аналітиці; надає у користування діаграми і таблиці для легкого і детальнішого перегляду даних, допомога у створенні міні-додатків; можливість підключатися до кількох баз даних, уникати блокування бази даних і підтримувати багатохмарні середовища даних. Looker позиціонується як ПЗ класу Business Intelligence і платформа Big Data аналітики, яка допомагає досліджувати, аналізувати і ділитися бізнес-аналітикою у реальному часі. Сьогодні платформа даних Looker працює як частина Google Cloud Platform. Looker підтримує хостинг у публічних хмарах, таких як AWS і GCP, а також у мультихмарних і гібридних середовищах.

Отже, Looker забезпечує Web-інтерфейс та аналітику у реальному часі; підтримка багатохмарних середовищ даних; робота Big Data; з простий у використанні.

Talend <https://www.talend.com/> - надає рішення для інтегрування даних, якості даних, керування даними, підготовки даних і Big Data; доступні хмарна і локальні рішення: підтримує декілька хмарних середовищ, загальнодоступних, приватних і гібридних, працює з AWS, Google Cloud, Azure і Snowflake; це єдиний інструмент ETL з усіма плагінами, що легко інтегрується з екосистемою Big Data. Ціна: локальні рішення – безкоштовно; хмарна платформа – від 1170\$/користувач/ місяць.

Отже, Talend - популярний інструмент, надає широке коло функцій і функціональних можливостей безкоштовно, Open Studio для Big Data – це безкоштовний і відкритий код; можливість налаштування під власний проект; потужний інструмент інтеграції ETL, простий у використанні.

Weka <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> - ПЗ з відкритим кодом для здійснення аналізу даних й машинного навчання, надає алгоритми машинного навчання для Data Mining; застосовне для очищення і підготовки даних, класифікації й кластеризації, асоціації, регресії й візуалізації; зручний графічний інтерфейс користувача; можливість інтегрування для автоматизації аналізу даних на стороні сервера з використанням стандартного API. Ціна: безкоштовно.

Отже, кросплатформеність; широкий набір алгоритмів для аналізу даних й машинного навчання; відкритий код; гнучкість у роботі з даними; вільний доступ; простота у застосуванні.

R-програмування <https://www.r-project.org/> – мова програмування для статистичної обробки даних і роботи з графікою, вільне ПЗ з відкритим кодом, підтримує об'єктно-орієнтовані функції програмування. Широко використовується як статистичне ПЗ для аналізу даних і фактично є стандартом для статистичних програм. Ціна: безкоштовно.

Отже, R-мова в основному використовується для статистичної обробки даних, науки про дані, для організації багаторазових обчислень, відкритий код тощо.

SAP BusinessObjects BI <https://www.sap.com/products/bi-platform.html> – онлайн-сервіс бізнес-аналітики, що дозволяє приймати ефективніші рішення у реальному часі, ґрунтуючись на великій кількості різної інформації. Інтегрована, уніфікована інфраструктура програмного продукту забезпечує масштабованість від одного до багатьох інструментів та інтерфейсів на локальному рівні, у хмарі або як гібридний підхід. Ціна: щорічна оплата.

Отже, SAP BusinessObjects Business Intelligence (BI) Suite – гнучка, масштабована платформа бізнес-аналітики, яка спрощує пошук та обмін інформацією для прийняття якісних бізнес-рішень.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Отже, провівши порівняльний аналіз сучасних програмних інструментів аналізу даних, можна зазначити, що Tableau Public простий у застосуванні і пропонує широке коло рішень для аналізу даних з різноманітними функціями, RapidMiner - зручне ПЗ для аналізу даних для машинного навчання, просте у застосуванні і забезпечує потужний графічний інтерфейс, KNIME - безкоштовна аналітична платформа з відкритим кодом, яку є простою для засвоєння, Orange є зручним ПЗ для створення моделей навчання, OpenRefine спрощує роботу з неструктурованими даними і підтримує низку форматів файлів для експорту та імпорту, за допомогою Looker зручно одержати точні діаграми й таблиці, Talend - потужний інструмент інтеграції ETL, простий у застосуванні, програмування на R-мові надає багато функцій, які є корисними для науки про дані, Microsoft Power BI має вбудовані можливості для хмарних і локальних джерел даних, Weka надає безліч інструментів для аналізу даних, SAP BusinessObjects BI використовує прості інструменти бізнес-аналітики для нерегламентованих запитів, звітів та аналізу у Web-середовищі.

Інструменти аналізу даних надають можливість значно покращити роботу компанії, але тільки тоді, коли при обранні інструменту, його впровадженні і підтримці враховуються всі особливості бізнес-процесів компанії. Програмні інструменти бізнес-аналітики допомагають аналізувати свої набори даних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, покращення процесів, формування і досягнення бізнес-цілей.

Література

1. Бойко Н.І. Перспективні технології дослідження великих даних у розподілених інформаційних системах. Радіоелектроніка, інформатика, управління, 2017. №4. С. 66–76.
2. Пономаренко І. В., Телеус А. В. Бізнес-аналітика як ефективний інструмент обробки даних. Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку. 2020. № 23. С. 64-70.
3. Беккауер А. Використання технологій Data Mining для автоматизації бізнес-процесів на виробництві. Системи обробки інформації. 2016. № 1 (138). С. 161–164.
4. Ілляшенко К. Сучасні інформаційні методи аналізу даних. Економічні науки. Облік і фінанси. 2015. № 12 (45). Ч. 2. С. 97–102.
5. Ліщинська Л.Б. Впровадження Business Intelligence для ефективного управління підприємством. L Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021): збірник доповідей (Вінниця, 10-12 березня 2021). Вінниця: ВНТУ, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2021/paper/view/12330/10310>
6. Ліщинська Л.Б. Перспективи ефективного управління в умовах цифрової економіки. L Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021): збірник доповідей (Вінниця, 10-12 березня 2021). Вінниця: ВНТУ, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2021/paper/view/12330/10310>.
7. Ліщинська Л.Б., Капніна Л. В. Інструменти обробки і аналізу великих даних. Цифрова економіка: матеріали національної науково-методичної конференції (м. Київ, ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» 4-5 жовтня 2018 р.) 2018. С.161-164.
8. Ліщинська Л.Б. Технології управління бізнес-процесами підприємства. Соціально-політичні, економічні та гуманітарні виміри європейської інтеграції України: Збірник наук. праць VIII Міжн. наук.-практ. конф. (Вінниця, 03 червня 2020 р.). 2020. Ч. 2. С. 245-256.

References

1. Boyko N. I. Advanced technologies of big data research in distributed information systems. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2017. № 4. P. 66–76.
2. Ponomarenko I., Teleus A. Business analysis as an effective data processing tool. The Problems of Innovation and Investment-Driven Development. 2020. № 23. С. 64-70.
3. Bekkauer A. Vykorystannia tekhnologii Data Mining dlia avtomatyzatsii biznes-protseviv na vyrobnytstvi. Systemy obrobky informatsii. 2016. № 1 (138). S. 161–164.
4. Illiashenko K. Suchasni informatsiini metody analizu danykh. Ekonomichni nauky. Oblik i finansy. 2015. № 12 (45). Ch. 2. S. 97–102.
5. Lishchynska L.B. Vprovadzhenia Business Intelligence dlia efektyvnoho upravlinnia pidprymstvom. L Naukovo-tekhnichna konferentsiia pidrozdiliv Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu (2021): zbirnyk dopovidei (Vinnytsia, 10-12 bereznia 2021). Vinnytsia: VNTU, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2021/paper/view/12330/10310>
6. Lishchynska L.B. Perspektyvy efektyvnoho upravlinnia v umovakh tsyfrovoi ekonomiky. L Naukovo-tekhnichna konferentsiia pidrozdiliv Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu (2021): zbirnyk dopovidei (Vinnytsia, 10-12 bereznia 2021). Vinnytsia: VNTU, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2021/paper/view/12330/10310>.
7. Lishchynska L.B., Kapnina L. V. Instrumenty obrobky i analizu velykykh danykh. Tsyfrova ekonomika: materialy natsionalnoi naukovo-metodychnoi konferentsii (m. Kyiv, DVNZ «Kyivskiy natsionalnyi ekonomichnyi universytet imeni Vadyma Hetmana» 4-5 zhovtnia 2018 r.) 2018. S.161-164.
8. Lishchynska L.B. Tekhnologii upravlinnia biznes-protseamy pidpryemstva. Sotsialno-politychni, ekonomichni ta humanitarni vymiry yevropeiskoi intehratsii Ukrainy: Zbirnyk nauk. prats VIII Mizhn. nauk.-prakt. conf. (Vinnytsia, 03 chervnia 2020 r.). 2020. Ch. 2. S. 245-256.

Рецензія/Peer review : 06.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

МЕТОД ПОБУДОВИ МАТРИЧНИХ РЕШІТОК КАРДАНО ДЛЯ СТИСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Стаття присвячена методу побудови матричних решіток Кардано для стиснення та прихованої передачі даних. Розроблений метод ґрунтується на комплексному використанні існуючих підходів та методик захисту інформації. Зокрема, на класичному шифрі маршрутної перестановки – шифрувальної решітки Кардано. Шифрувальна решітка Кардано побудована на основі частотного аналізу англомовного тексту та застосування операцій матричного криптографічного перетворення. В подальшому запропонований метод дозволить побудувати нові алгоритми шифрування інформації за аналогією шифрувальної решітки. Також, створені алгоритмічні моделі є базисом для побудови методу стиснення та прихованої передачі даних.

Ключові слова: частотний аналіз текстів, надлишковість, кодування, шифрувальна решітка, стиснення інформації, прихована передача даних.

I. ROZLOMIJ

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

METHOD OF CONSTRUCTION MATRIX CARDANO'S GRIDS FOR COMPRESSION OF INFORMATION

Due to the rapid development of computer technology and the information field, issues related to information security are becoming increasingly important. Knowledge of information security tools is required for the effective organization of the process of transmission and storage of classified information. The main means of information protection such as encryption, compression and covert transmission of information are present in the article. Information security techniques, including cryptographic data protection systems, play an important role in today's information-filled world. The means of cryptographic data protection, in particular encryption using the Cardano's encryption grid are list and analyze in the article. Existing mechanisms for reliable storage and transmission of information today do not provide adequate protection. The problem of lack of effective means of information protection is explained by rapid and systematic changes in information technology.

The article is devoted to the method of constructing Cardano matrix gratings for compression and hidden data transmission. The developed method is based on the integrated use of existing approaches and methods of information protection. In particular, on the classic cipher of the route permutation – Cardano's encryption grid. Cardano matrix lattice is based on frequency analysis of English text. The algorithm of frequency analysis of the text and its results are presented in the article. As a result of performing operations of matrix cryptographic transformation of numbers – the rules of distribution of symbols on a lattice are received.

In the future, the proposed method will build new algorithms for encrypting information by analogy with the encryption lattice. Also, the created algorithmic models are the basis for building a method of compression and covert data transmission. The methods of information protection considered in the article – encryption, compression and covert transmission, allow us to draw the general conclusion that only their integrated use will ensure an adequate level of protection.

Keywords: texts frequency analysis, redundancy, encoding, grille cipher, information compression, hidden data transmission.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Стрімкий розвиток інформаційних технологій неминуче призводить до необхідності забезпечення конфіденційності і цілісності інформації. Технології віртуальної інфраструктури інтенсивно впроваджуються в сучасне життя. Експлуатація інформаційних систем (ІС) в контексті обробки даних стає звичним явищем, зручним та ефективним. Комплексне забезпечення інформаційної безпеки представляє собою безперервний процес, який постійно вимагає модифікації і, як результат, ускладнення ІС. Інфраструктура ІС передбачає впровадження технічних чи програмних компонентів, наявність яких призводить до збільшення можливостей несанкціонованого доступу до оброблюваної інформації.

Під інформаційною безпекою розуміють дії, спрямовані на запобігання від несанкціонованого доступу, умисного видалення, модифікації, перегляду, редагування та інших дій особами, які не мають на це прав. Загально визнаними заходами щодо формування режиму інформаційної безпеки у комп'ютерних та телекомунікаційних системах є методи криптографії. До методів криптографічного перетворення інформації відносять: шифрування, кодування, стеганографію та стиснення.

Одним з ефективних способів вирішення проблеми захисту інформації є шифрування. Всі криптографічні алгоритми будуються на основі використання, так званих, криптографічних примітивів – простих операцій, комбінація яких дозволяє отримати алгоритм шифрування даних. Проте, часто потрібно не лише зашифрувати дані, але і зробити їх зберігання та передачу більш ефективною. В зв'язку з цим, разом з шифруванням доречним є використання методів стиснення та прихованої передачі даних. Стиснення – процес усунення надлишковості інформації. Стиснення даних до методів криптографічного перетворення інформації відноситься умовно і застосовується для зменшення об'єму інформації різними способами, наприклад, на основі використання правил скорочень, заміни та інших.

Аналіз досліджень та публікацій

В ряді випадків при організації збереження і передачі даних доводиться мати справу з текстовою інформацією. Як приклад, можуть служити різноманітні пошукові системи, системи збереження спеціалізованої текстової інформації та інші інформаційні системи. В таких випадках для підвищення ефективності зберігання та передачі великих об'ємів текстової інформації комп'ютерними мережами використовують її стиснення, методи прихованої передачі та шифрування. Багато публікацій присвячені розробці методів стиснення [1-3] та шифрування текстової інформації [4-8]. Особливої уваги заслуговує робота [9], в якій запропонована модель криптографічного стиснення даних. Особливістю алгоритму, що представлений в даній роботі є те, що він поєднує алгоритм стиснення та шифрування. В зв'язку з цим актуальною задачею є розробка нових ефективних методів стиснення, шифрування та прихованої передачі, які дозволять забезпечити цілісність інформації при її передачі та зберіганні.

Формулювання цілей статті

Мета роботи полягає у розробці методу формування матричних решіток Кардано для побудови нових методів криптографічного стиснення та прихованої передачі інформації відкритими каналами зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Для побудови нових методів криптографічного стиснення та прихованої передачі інформації необхідно розробити прототип матричної решітки на основі класичної решітки Кардано. Формування матричних решіток Кардано передбачає використання операцій матричного криптографічного перетворення та виконання частотного аналізу тексту [10]. Алгоритм формування матричних решіток Кардано показаний на рис. 1 і описується наступною послідовністю кроків:

1) виконати частотний аналіз тексту – обчислити частоту входження кожної букви алфавіту;

2) задати матрицю та виконати матричне криптографічне перетворення чисел з діапазону 0...255;

3) визначити частоту входження кожної букви в решітку;

4) розставити букви в решітку.

На рис. 1 показана схема алгоритму формування матричної решітки Кардано.

Побудова матричних решіток Кардано базується на частотному аналізі тексту та операціях матричного криптографічного перетворення. Для побудови статистичної решітки Кардано було взято англійський текст (рис.2).

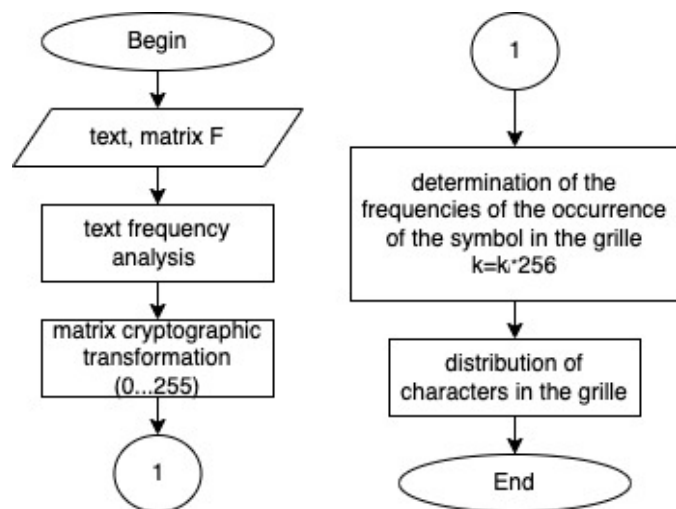


Рис. 1. Схема алгоритму формування решітки

А.С. Пушкин "Письмо Татьяны Онегину"			
I love you, nothing else to say	My feelings would have come to end	I've heard you, dear, did you see?	No one of people round mine
I have, but also know you may	And, I'd have met my future friend,	How calm it was to speak to me,	Can matter out what possesses
Surround me with your disdain.	Who, maybe, I won't ever stand,	When I was helping poor men	My poor flagging crazy mind
But condoling my pity way	But I'd be able to become	Or praying, were you near then	Tossing in agony of death.
You won't abandon me alone.	A faithful wife and a kind mum.	To make my soul just to be	I wait for you and our date
At first I wanted keep my senses,	Another man? Oh no, I'll never,	In peace, this moment, precious sight,	Which'll be conclusive for my fate.
You wouldn't hear what's right, what's wrong,	I'll never love another one!	You was the only man who might	
If I had any expectancies	It was determined in heaven,	Appear in the limpid night	It's over! I became so pale,
To see you seldom, once a week	And if you call me, I will come	Before my hoping face inclining.	I falter with a scaring heart
In our lands, to give you a quick,	To you. For me you're only one,	Were not that you who shed in loving	But till your honor is my bail
Fond eye, to hear your voice and then,	Who I've been waiting all my life.	Timbre hopeful light?	I put my faith in your conduct.
Then think about "Where?", "When?"	I know exactly you're my Sun,	Can you pretend to save from evil	
My dear, we will meet again.	Which saves me from all the strikes.	My innocence or you are devil?	
But people say that you're reserved	I saw you even in my dreams,	My world was deeply got upset,	
In our solitude you're bored,	You won my heart without seeing	But maybe it is self-deception	
And we're not brilliantly bright	Your queer stare took my being,	Of soul lulled with loving thread?	
But you are welcome days and nights.	Your voice in soul was like scream	And there won't be any action...	
Why have you visited that nook?	That time -No, I was not asleep!	But I decided - I am yours	
It was enough to have a look	I've noticed you're to it concerning	With tears asking for protection	
At you to feel my poor heart	I was astonished, was I burning,	Without you around the earth	
In love, if we had stood apart	How I was dreaming of friendship!	There's only lonely direction.	

Рис. 2. Текст взятий за основу решітки

Над текстом з рис. 2 необхідно виконати його частотний аналіз за алгоритмом, який показаний на рис. 3. Частотний аналіз тексту розраховує частоту появи кожного символу в тексті [11-12].

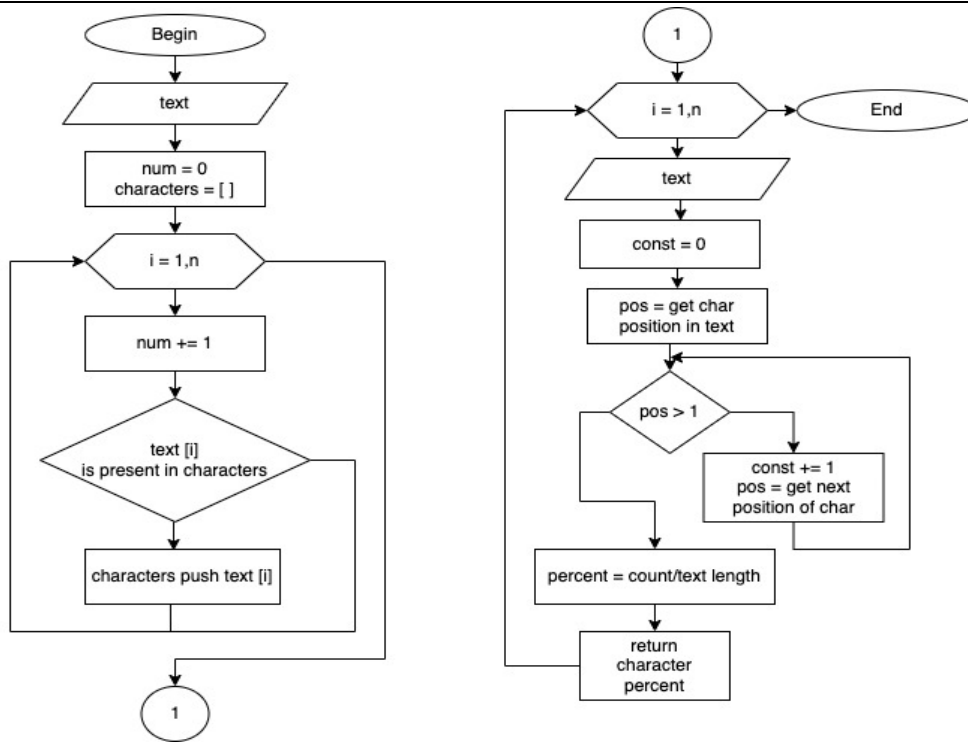


Рис. 3. Схема алгоритму частотного аналізу тексту

На рис. 4. Показані результати частотного аналізу тексту, а також статистичні дані частот літер англійської мови.

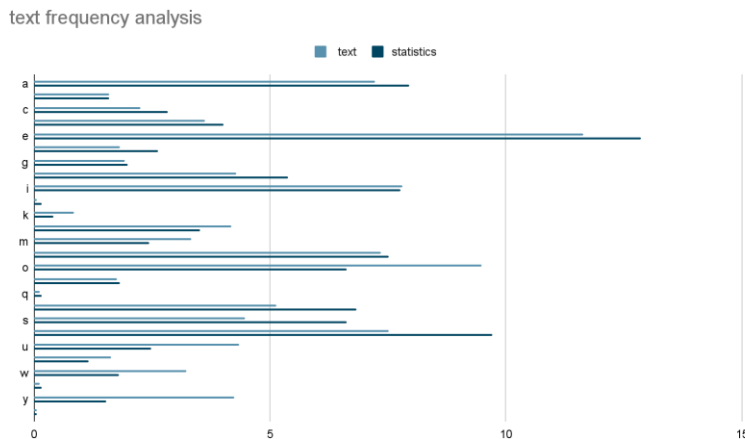


Рис. 4. Результат частотного аналізу англійського тексту у відсотках

Наступним кроком алгоритму є визначення частоти входження кожної літери англійського алфавіту в решітку. Враховуючи, що решітка має 256 комірок, то частоту входження кожної літери обчислюємо $amount = percent * 256$, де $percent$ – результат частотного аналізу літери у відсотках (рис.3). Отримані результати обчислень показані на рис. 5. На рис. 5 показана частота входження кожної літери в решітку і діапазон, який займає кожна літера.

a = 18, [0-17]	g = 5, [71-75]	l = 11, [111-121]	q = 1, [177]	v = 4, [232-235]
b = 4, [18-21]	h = 11, [76-86]	m = 8, [122-129]	r = 13, [178-190]	w = 8, [236-243]
c = 6, [22-27]	i = 20 [87-107]	n = 19, [130-148]	s = 11, [191-201]	x = 1 [244]
d = 9, [28-36]	j = 1, [108]	o = 24, [149-172]	t = 19, [202-220]	y = 10, [245-254]
e = 30, [37-66]	k = 2, [109-110]	p = 4 [173-176]	u = 11, [221-231]	z = 1, [255]
f = 4, [67-70]				

Рис. 5. Результати визначення частоти входження кожної літери в решітку

Як зазначалося вище, для формування матричної решітки, крім частотного аналізу тексту, використовуються операції матричного криптографічного перетворення. Матричні алгоритми придатні для обернених перетворень, якщо при цьому виконуються такі умови:

- 1) відсутні нульові рядки і стовпці в матриці;
- 2) додавання рядків і стовпців матриці не дорівнюватиме нулю.

Виходячи з цього можна говорити, що при додаванні рядків і стовпців матриці, матриця буде не виродженою [13]. Візьмемо це з основу.

В загальному вигляді операції криптографічного перетворення, побудовані на основі додавання за модулем два, описуються такою моделлю (1) [13-14]:

$$\vec{F} = \begin{pmatrix} a_{11}x_1 \oplus a_{12}x_2 \oplus \dots \oplus a_{1n}x_n \oplus b_1 \\ a_{21}x_1 \oplus a_{22}x_2 \oplus \dots \oplus a_{2n}x_n \oplus b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{n1}x_1 \oplus a_{n2}x_2 \oplus \dots \oplus a_{nn}x_n \oplus b_n \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де $a_{ij} \in [0,1]$; $b_i \in [0,1]$; $x_1 \dots x_n$ – операнди-розряди відповідно; \oplus – операція «сума за mod 2» [16].

Для того, щоб вказати, як розташувати букви в комірки решітки виконаємо матричні криптографічні перетворення чисел від 0 до 255. Нехай операція матричного криптографічного перетворення задана матрицею:

$$\vec{F}_k = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

для знаходження результату перетворення необхідно підставити значення відповідних інформаційних бітів в систему

$$F = \begin{cases} x_2 \oplus x_4 \oplus x_5 = y_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus x_5 \oplus x_7 \oplus x_8 = y_2 \\ x_2 \oplus x_4 \oplus x_5 \oplus x_8 = y_3 \\ x_2 \oplus x_6 \oplus x_8 = y_4 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_7 = y_5 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus x_5 \oplus x_7 = y_6 \\ x_3 \oplus x_3 \oplus x_6 \oplus x_7 = y_7 \\ x_5 = y_8 \end{cases},$$

де x_1, \dots, x_8 – вихідний байт, y_1, \dots, y_8 – байт, отриманий в результаті матричного перетворення.

Для обчислення значень матричних криптографічних перетворень чисел із заданого діапазону було розроблено програмне забезпечення, результати якого показані на рис. 6.

Для побудови матричних решіток Кардано скористаємось даними отриманими в результаті частотного аналізу тексту та результатом виконання матричного криптографічного перетворення чисел. З рис. 5 відома кількість кожної літери, яка має входити в решітку. Далі необхідно заповнити 256 комірок решітки літерами. Номери комірок в які буде розміщуватись та чи інша літера візьмемо з результатів, представлених на рис. 6. Наприклад, з рис. 5 відомо, що літера «а» займає діапазон [0–17]. З рис. 6 потрібно взяти результати матричного криптографічного перетворення чисел цього діапазону [0–17]. Відповідно, результати вкажуть на комірки, в яких буде записана літера «а». Аналогічним чином необхідно заповнити всі комірки решітки літерами в тій кількості в якій зазначено на рис. 6.

0 => 0	1 => 112	2 => 78	3 => 62	4 => 18	5 => 98	6 => 92	7 => 44	8 => 229	9 => 149	10 => 171
11 => 219	12 => 247	13 => 135	14 => 185	15 => 201	16 => 226	17 => 146	18 => 172	19 => 220	20 => 240	21 => 128
22 => 190	23 => 206	24 => 7	25 => 119	26 => 73	27 => 57	28 => 21	29 => 101	30 => 91	31 => 43	32 => 74
33 => 58	34 => 4	35 => 116	36 => 88	37 => 40	38 => 22	39 => 102	40 => 175	41 => 223	42 => 225	43 => 145
44 => 189	45 => 205	46 => 243	47 => 131	48 => 168	49 => 216	50 => 230	51 => 150	52 => 186	53 => 202	54 => 244
55 => 132	56 => 77	57 => 61	58 => 3	59 => 115	60 => 95	61 => 47	62 => 17	63 => 97	64 => 252	65 => 140
66 => 178	67 => 194	68 => 238	69 => 158	70 => 160	71 => 208	72 => 25	73 => 105	74 => 87	75 => 39	76 => 11
77 => 123	78 => 69	79 => 53	80 => 30	81 => 110	82 => 80	83 => 32	84 => 12	85 => 124	86 => 66	87 => 50
88 => 251	89 => 139	90 => 181	91 => 197	92 => 233	93 => 153	94 => 167	95 => 215	96 => 182	97 => 198	98 => 248
99 => 136	100 => 164	101 => 212	102 => 234	103 => 154	104 => 83	105 => 35	106 => 29	107 => 109	108 => 65	109 => 49
110 => 15	111 => 127	112 => 84	113 => 36	114 => 26	115 => 106	116 => 70	117 => 54	118 => 8	119 => 120	120 => 177
121 => 193	122 => 255	123 => 143	124 => 163	125 => 211	126 => 237	127 => 157	128 => 76	129 => 60	130 => 2	131 => 114
132 => 94	133 => 46	134 => 16	135 => 96	136 => 169	137 => 217	138 => 231	139 => 151	140 => 187	141 => 203	142 => 245
143 => 133	144 => 174	145 => 222	146 => 224	147 => 144	148 => 188	149 => 204	150 => 242	151 => 130	152 => 75	153 => 59
154 => 5	155 => 117	156 => 89	157 => 41	158 => 23	159 => 103	160 => 6	161 => 118	162 => 72	163 => 56	164 => 20
165 => 100	166 => 90	167 => 42	168 => 227	169 => 147	170 => 173	171 => 221	172 => 241	173 => 129	174 => 191	175 => 207
176 => 228	177 => 148	178 => 170	179 => 218	180 => 246	181 => 134	182 => 184	183 => 200	184 => 1	185 => 113	186 => 79
187 => 63	188 => 19	189 => 99	190 => 93	191 => 45	192 => 176	193 => 192	194 => 254	195 => 142	196 => 162	197 => 210
198 => 236	199 => 156	200 => 85	201 => 37	202 => 27	203 => 107	204 => 71	205 => 55	206 => 9	207 => 121	208 => 82
209 => 34	210 => 28	211 => 108	212 => 64	213 => 48	214 => 14	215 => 126	216 => 183	217 => 199	218 => 249	219 => 137
220 => 165	221 => 213	222 => 235	223 => 155	224 => 250	225 => 138	226 => 180	227 => 196	228 => 232	229 => 152	230 => 166
231 => 214	232 => 31	233 => 111	234 => 81	235 => 33	236 => 13	237 => 125	238 => 67	239 => 51	240 => 24	241 => 104
242 => 86	243 => 38	244 => 10	245 => 122	246 => 68	247 => 52	248 => 253	249 => 141	250 => 179	251 => 195	252 => 239
253 => 159	254 => 161	255 => 209								

Рис. 6. Результат матричного криптографічного перетворення чисел

В результаті отримано матричну решітку (рис.7), яка служить основою для подальшої розробки методів шифрування, стиснення та прихованої передачі даних. Даний підхід до формування решітки дозволяє отримувати різні варіанти решіток шляхом зміни вхідних даних. Зокрема, якщо взяти інший текст для частотного аналізу – буде інший результат частоти входження кожної літери в решітку. Також зміна матриці для виконання операцій матричного криптографічного перетворення сформує інакші правила розподіл у символів по комірках решітки.

0	a	r	n	e	d	o	c	l	t	x	h	h	w	t	k	
16	n	e	a	r	o	d	e	o	w	g	l	e	t	i	h	v
32	h	v	t	i	l	s	w	g	e	o	o	d	a	s	n	e
48	t	k	i	w	y	h	l	t	o	c	d	o	m	e	a	r
64	t	j	h	w	y	h	l	t	o	c	d	o	m	e	a	r
80	h	v	t	i	l	s	w	g	d	o	o	d	a	r	n	e
96	n	e	a	r	o	d	e	o	w	g	l	t	t	i	h	v
112	a	r	n	e	d	o	c	l	t	y	h	h	w	t	l	
128	b	p	o	e	e	n	r	a	i	t	u	i	e	y	s	m
144	n	e	a	o	q	a	e	n	u	i	i	u	s	m	f	y
160	f	y	s	m	i	t	u	i	e	n	r	a	b	o	n	e
176	s	l	e	y	u	i	i	t	r	a	e	n	n	e	c	p
192	s	l	f	y	u	i	i	t	r	a	e	n	o	e	c	p
208	g	z	s	m	i	u	i	e	n	r	a	b	o	n	e	
224	n	e	a	o	p	a	e	n	u	i	i	u	s	m	f	y
240	b	o	e	e	n	r	a	i	t	u	i	e	y	s	m	

Рис. 7. Матрична решітка

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Методи захисту інформації, зокрема системи криптографічного захисту даних, відіграють важливу роль у сучасному, наповненому інформацією світі. Уявлення про засоби захисту потрібні для нормального функціонування передачі та зберігання секретної інформації. Таким чином, слід зазначити, що існуючі механізми надійного зберігання та передачі інформації сьогодні не забезпечують належного захисту. Проте, проблема відсутності ефективних засобів захисту інформації пояснюється швидкими і систематичними змінами інформаційних технологій. Розглянуті в статті методи захисту інформації – шифрування, стиснення та прихована передача, дозволяють зробити загальний висновок про те, що лише комплексне їх використання дозволить забезпечити належний рівень захисту. Тому, в статті було запропоновано метод формування матричної решітки, яка служить базисом для розробки нових методів шифрування, стиснення та прихованої передачі інформації.

Література

17. Потемкин В.Г., Корсунов Н.И. (2009) Алгоритм сжатия информации с адаптацией для криптосистем. Научные ведомости. 7 (62). 101–107.
18. Серебровский В.В., Ефремова И.Н., Ефремов В.В., Емельянова Н.А. (2019) Исследование эффективности объединения процессов поиска и сжатия символьной информации. Научные ведомости. 2(46). 284–295.
19. Кудина В.А., Нэй Лин (2019) Использование метода сжатия информации в семантическом информационном поиске. Научные ведомости. 1(161). Т. 46. 161–172.
20. Бабаш А.В., Баранова Е.К., Лютина А.А., Мурзакова А.А., Мурзакова Е.А., Рябова Д.М., Семис Е.С. (2020) О границах зашумления текстов при сохранении их содержания. Приложение к криптографии. Вопросы кибербезопасности. 1(35). 74 – 86.
21. Encryption: practical guide. Jean-Philippe Aumasson. San Francisco: no starch press, 2017. 312p.
22. Запечников С.В. Криптографические методы защиты информации: учебное пособие. М.: Юрайт, 2017. 309 с.
23. Васильева И.Н. Криптографические методы защиты информации: учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 64 с.
24. Жданов О.Н., Золотарев В.В. Методы и средства криптографической защиты информации: учебное пособие. Красноярск: Сиб. ГАУ, 2007. 217 с.
25. Кожевникова И. С., Ананьин Е. В., Датская Л. В. (2015) Формализованная модель криптографического сжатия данных. Евразийский Союз Ученых. 5 (14). 78–80.
26. Головань О. В. (2008) Частотный анализ как первый шаг а построении интеллектуальной системы исследования текста. Ползуновский альманах. 2. 153 – 155.
27. Ворончихина Е. Н., Жигалко Е. Ф., Калинина П. С., Привалов Н. А., Пашнина Н. В., Пахнушева М. Ю. (2010) Частотные характеристики символов чертежных текстов. Известия ПГУПС. 1. 10–18.
28. Осочкин А.А., Фомин В.В., Флегонтов А.В. (2017) Метод частотно-морфологической классификации текстов. Программные продукты и системы. Software & Systems 3 (30). 478 – 486.
29. Розломий І.О. Методи обчислення хеш-функції електронного документу на основі матричних криптографічних перетворень. Вісник ЧДТУ. Технічні науки. 2016. №4. С. 88–94.
30. Розломий І.О., Косенюк Г.В. Виявлення порушень цілісності електронного документу шляхом перехресного хешування. Вісник ХНУ. Радіотехніка, електроніка та телекомунікації. 2018. №5 (265). С. 32–35.

References

1. Potemkin V.G., Korsunov N.I. (2009) Algorithm of compression of the alphabetic information with adaptation for cryptosystems. Scientific statements. 7 (62). 101–107.
2. Serebrovsky V.V., Efremova I.N., Efremov V.V., Emelianova N.A. (2019), Assessment of the efficiency of unification of search processes and compression of symbol information. Scientific statements. 2(46). 284–295.
3. Kudinov V.A., Nay Lin (2019) Using the method of information compression in a semantic retrieval. Scientific statements. 1(161). Т. 46. 161–172.
4. Babash A.V., Baranova E.K., Lyutina A.A., Murzakova A.A., Murzakova E.A., Ryabova D.M., Semis E.S. About text noise borders with the text content saving. Applications to cryptography. Cybersecurity issues. 1(35). 74–86.
5. Encryption: practical guide. Jean-Philippe Aumasson. San Francisco: no starch press, 2017. 312p.
6. Zapchnikov S.V. Information protecting cryptographic methods: a tutorial. M.: Yurayt, 2017. 309 p.
7. Vasilyeva I.N. Information protecting cryptographic methods: a tutorial. M.: Yurayt, 2016. 64 p.
8. Zhdanov O.N., Zolotarev V.V. Cryptographic information protection methods and means: educational manual. Krasnoyarsk: Sib. GAU, 2007. 217 p.
9. Kozhevnikova I.S., Ananin E.V., Datskaya L.V. (2015) Formalized model of cryptographic data compression. Eurasian Union of Scientists. 5 (14). 78–80.
10. Golovan O.V. (2008) Frequency analysis as the first step in the construction of an intellectual system for text research. Polzunovsky almanac 2. 153–155.
11. Voronchikhina E. N., Zhigalko E. F., Kalinina PS, Privalov N. A., Pashnina N. V., Pakhnusheva M. Yu. (2010) Frequency characteristics of symbols of drawing texts. Izvestia PGUPS. 1. 10–18.
12. Osochkin A.A., Fomin V.V., Flegontov A.V. (2017) Method of frequency-morphological classification of texts. Software & Systems 3 (30). 478–486.
13. Rozlomi I.O. (2016) Methods for calculating the hash function of an electronic document based on matrix cryptographic conversions. Visnik ChDTU. Technical sciences. 4. 88–94.
14. Rozlomi I.O., Kosenyuk H.V. (2018) Revealing the deterioration of the integrity of the electronic document by the way of perekhresny kheshuvannya. Visnik KhNU. Radiotechnics, electronics and telecommunications. 5 (265). 32–35.

ТАЛАНЧУК Д. О.

ORCID ID: 0000-0003-2089-6134
e-mail: dmytro.o.talanchuk@lpnu.ua

МАРКОВЕЦЬ О. В.

ORCID ID: 0000-0001-8737-5929
e-mail: oleksandr.v.markovets@lpnu.ua

Національний університет «Львівська політехніка»

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ЗАХОДІВ ІЗ ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ INSTAGRAM-СТОРІНКИ

У статті наведено результати дослідження розвитку сторінки у соціальній мережі Instagram. Проведено огляд наукових джерел, що висвітлюють популяризацію профілів у соціальних мережах. Для досягнення поставленої мети, було створено універсальну блок-схему алгоритму дій, що допоможе отримувати реакції на поширений контент. Висвітлено визначені ліміти взаємозв'язків із контентом, що допоможуть уникнути блокування сторінки та показано статистичні дані сторінки, на базі якої відбувалися дослідження соціальної мережі Instagram.

Ключові слова: соціальна мережа, Instagram, популяризація, комунікація, інформація, статистика, віртуальна сторінка, аналіз, інформаційні технології.

DMYTRO TALANCHUK, OLEKSANDR MARKOVETS
Lviv Polytechnic National University

DEVELOPMENT OF A SET OF MEASURES TO PROMOTE THE INSTAGRAM PAGE

The article presents the results of a study of the development of the page on the social network Instagram. A review of scientific sources that cover data on the promotion of profiles on social networks. To achieve this goal, a universal flowchart of the algorithm of actions was created, which will help to get reactions to the distributed content. The limits of interaction with the content that will help to avoid blocking the page are highlighted and the statistics of the page based on which the research of the social network Instagram was conducted are shown.

The growing popularity of the social network Instagram encourages the study of methods to promote the profile. This study contains information about methods of promoting the page that does not require money. The flowchart will help start-up bloggers and small businesses that do not have the funds to advertise to gain additional reach of the target audience. This block diagram is universal and does not require special topics of the pages. The shown statistics will prove the efficiency of the created block diagram of the page development algorithm. With the help of the flowchart, users will be able to receive additional hundreds, sometimes thousands, of additional target audience reach and content interactions.

A study was conducted to determine the best time to publish content. Properly chosen time increases the chances of greater coverage of people on the social network. To determine the time, a foreign study was analyzed and a new one was conducted based on its own Instagram page and KeyHole resource. The article describes the effectiveness and importance of using correct and thematic hashtags. The use of hashtags, as well as other described methods, will help increase the reach of the target audience. The statistics show the effectiveness of this method of popularizing the page and describe the optimal number of hashtags per post.

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

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Тенденції розвитку сучасних інформаційних технологій докорінно змінюють життя усіх людей. Ті професії, що раніше працювали в фізичних приміщеннях, переходять у онлайн. Соціальні мережі стали вибором багатьох компаній та звичайних людей, як платформи для реклами та продажу своєї продукції та своїх послуг. Однією із найпопулярніших соціальних мереж для ведення такої діяльності став Instagram. Щороку Instagram отримує тисячі нових користувачів в Україні, та мільйони у цілому світі. Чимало з цих людей прагне заробляти на своєму контенті, і для цього потрібна дієва стратегія розвитку сторінки, і великий відсоток цих користувачів зустрічаються з тим, що їх методи популяризації виявляються недієвими. Основною проблемою такого результату є ігнорування усіх функцій соціальної мережі Instagram, користувачі не використовують геомітки, пишуть невідповідні хештеги та перевищують ліміти взаємодій із іншими користувачами, що призводить до обмеження такої діяльності, а іноді і до блокування сторінки, оскільки алгоритми вважають таких користувачів ботами. Другою причиною занепаду сторінки є відсутність алгоритму дій та системності публікування інформації. Для вирішення цих питань, було вирішено провести дослідження та знайти методи, що допоможуть людям отримувати додаткові перегляди та взаємодії із цільовою аудиторією, адже саме це є рушієм у розвитку сторінки.

Аналіз досліджень та публікацій

Чимало сучасних науковців досліджують соціальні мережі та феномен їх популярності. У науковій статті Олени Мар'їної «Бібліотеки та соціальні медіа: технологія взаємодії» [1] розповідається, що соціальними платформами користується від 60% до 80% активних користувачів мережі Інтернет. У

соціальних мережах люди вподобують сторінки за своїми інтересами та потребами, створюють власні групи та комерційні сторінки, поширюють інформацію чи продають товари. Соціальні сторінки стали такими популярними, оскільки все необхідне для людей знаходиться в одному додатку, немає потреби шукати сайт, щоб отримати інформацію від компанії чи ЗМІ, усе висвітлюється у соціальній мережі. Саме поняття «соціальна мережа» з'явилося ще у далекому 1954 році і на той момент не мало стосунку до мережі Інтернет. Поняття ввів соціолог Джеймс Барнс, на його думку «соціальна мережа» - це соціальна структура, що складається з вузлів, якими є соціальні об'єкти, і зв'язків між ними. Тобто, це група людей, що знають один одного, де сама людина є центром, а її знайомі є гілками, а між усіма членами цієї мережі є відповідні зв'язки, вони можуть бути односторонніми та двосторонніми [2].

Часто користувачі соціальної мережі Instagram використовують сторонні сервіси, щоб вдосконалити контент, такими сервісами можуть бути: Mssg.me, Taplink, SmmPlanner, Websta, Chotam, InstaLex, Tooligram, Totems Analytics, InstaOrders [3]. Використання цих сервісів спрямоване на вироблення власного унікального стилю та просування контенту. Найбільш популярний Instagram є серед українців віком від 18 до 24 років, близько 2,8 мільйонів осіб цієї вікової групи є користувачами соціальної мережі Instagram, це приблизно 91,04% від усіх жителів України в цій віковій групі. В віковій групі від 25 до 35 років близько 4 мільйонів користувачів, що становить приблизно 54,29% від всіх жителів у цій групі. А серед українців віком від 36 до 45 років Instagram використовує близько 1,8 мільйона людей, це 28,91% жителів цієї вікової групи [4].

Фінські науковці проводили дослідження популярного методу набору послідовників, що називається «Follow for follow» [5]. Це метод, що передбачає підписку на певну кількість сторінок, з метою отримання взаємної підписки. Цей спосіб є одним із найпопулярніших у даній соціальній мережі, адже він дозволяє набрати велику кількість підписників за короткий період часу. Цей спосіб часто використовують блогери або представники малого та середнього бізнесу, що не мають коштів на рекламу. Однак слід зазначити, що Instagram обмежує кількість взаємодій. Вчені з Балі провели дослідження, щоб визначити причини популярності соціальної мережі Instagram серед місцевого бізнесу, результати описано у статті «Opportunities and Challenges of Instagram Algorithm in Improving Competitive Advantage» [6]. Дослідження показало, що використання соціальних мереж для реклами своїх послуг та товарів, може збільшити попит на них до 78%. Соціальні мережі популярні серед бізнесменів, оскільки завдяки ним, бізнесу не потрібно винаймати приміщення, що значно економить кошти, окрім цього, вони охоплюють значно більшу аудиторію, оскільки немає потреби бути фізично присутнім у магазині, щоб ознайомитися та придбати товари та послуги.

Активність користувачів у соціальних мережах залежить і від часу. Вчені з Індонезії Ріско Вахід та Мухаммад Вадуд провели дослідження, щоб визначити найкращий час та день для публікації контенту, щоб він в свою чергу отримував максимум охоплення та взаємодій з цільовою аудиторією сторінки [7]. Науковці довели, що опублікований контент у будні дні, отримує більше взаємодій, ніж контент, що публікувався в вихідні дні. Причиною цього може бути те, що у вихідні дні люди їздять кудись на відпочинок, та не мають змоги часто переглядати соціальні мережі, а у будні дні, коли люди перебувають на навчанні та роботі, цей час знаходиться, та у перервах між заняттями чи роботою, вони переглядають стрічки соціальних мереж та взаємодіють із контентом. Щодо часу доби, то дослідження індонезійських вчених показує, що найкращим часом для публікації контенту є час сніданку та обіду, саме в ці години генерується найбільше вподобань та коментарів.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: створення унікальної блок-схеми алгоритму дій, що допоможе розвивати сторінку у соціальній мережі Instagram, визначення лімітів взаємодій, що допоможе уникнути блокування сторінки та проведення дослідження у визначенні оптимального часу для публікацій.

Виклад основного матеріалу

Ключовими фігурами у соціальній мережі Instagram є комерційні сторінки, що поширюють свій товар і послуги, та сторінки простих користувачів, що взаємодіють між собою. Чимало людей вирішують відкривати свої крамниці у цій соціальній мережі, адже це дає змогу поширювати свої товари та послуги на більшу цільову аудиторію, ніж фізичний магазин. Але у багатьох людей немає розуміння того, як правильно популяризувати контент, і вони ігнорують усі, на перший погляд, незначні функції Instagram, що насправді сприяють розвитку сторінки. Усі дописи, що публікують користувачі, можна поширювати у чотири інші соціальні мережі (рис.1).

Список соціальних мереж, у яких можна поширювати дописи з сторінки Instagram, відрізняється в залежності від регіону де було зареєстровано профіль. Для України доступні Facebook, Twitter, Tumblr та російська соціальна мережа OK.Ru, що заблокована на території України. Якщо

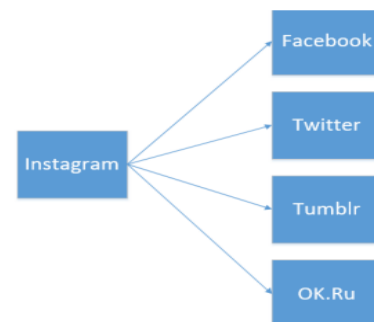


Рис. 1. Наявні соціальні мережі для поширення контенту через меню створення допису

користувачу необхідно поширювати контент у соціальні мережі, що популярні в інших країнах, то для цього потрібно через налаштування змінити регіон, і тоді у списку соціальних мереж для поширення появиться та соціальна мережа, яка популярна у певній країні. Поєднати соціальні мережі з Instagram можна через налаштування та через меню створення допису. Після під'єднання усіх необхідних профілів, користувач зможе поширювати дописи у них натискаючи лише на потрібну назву, після опублікування у Instagram, допис появиться і у всіх обраних соціальних мережах. У проаналізованій науковій роботі [6], було знайдено твердження, що опублікований допис бачить лиш 20% від користувачів, що підписані на сторінку, щоб показники росли, користувачі повинні взаємодіяти із дописом. У соціальній мережі Instagram є чотири основні типи взаємодії: вподобання, коментарі, поширення, збереження. Чим більше у допису взаємодій, тим більше користувачів його побачить, тому важливо заохочувати послідовників ставити вподобання та залишати коментарі під дописами, адже це основний рушій розвитку сторінки.

Загалом є чотири основні типи контенту, до них відносять: фотографії або графіка, відеозаписи, Stories та IGTV. Stories та IGTV віднесено до окремої категорії типів контенту, оскільки вони публікуються в інших вбудованих додатках. Сам контент складається з кількох складових. Обов'язковою частиною контенту є будь-який медіа файл, текст є додатковою складовою, яку не обов'язково додавати. Однак чим більше складових у дописі, тим краще з ним реагують люди, оскільки користувачі не лише дивляться на медіа файли, але й читають опис до контенту, щоб зрозуміти, що саме їм показують. В додатковому сегменті контенту, тобто в текстовому полі, у користувачів є можливість вказувати хештеги, що посприяють більшому охопленню цільової аудиторії, та позначати інших людей чи комерційні сторінки. На самих медіа файлах користувач може позначати людей, що дотичні до певної події. Формуючи контент, слід пам'ятати, що користувач повинен мати право на його публікацію, в разі якщо публікується зображення чи відеозапис іншої людини, оскільки є ризик отримати блокування сторінки через порушення авторського права. Для Уникнення порушень авторських прав, та за відсутності власних зображень, користувачі можуть звернутися до фото банків, де можна легально завантажити зображення без авторських прав. Прикладом такого фото банку може бути сервіс Unsplash.

Розвиток сторінки у соціальній мережі Instagram потребує постійного наповнення сторінки новим контентом. Великі перерви між публікаціями мають негативний вплив на сторінку, що призводить до занепаду та втрати послідовників. Щоб уникнути цього, важливо мати стратегію публікацій, тобто контент-план. Планування публікацій може охоплювати різний період, а у самій таблиці контент-плану потрібно вказувати ті дані, що знадобляться під час створення допису. Приклад таблиці планування контенту зображено на рис. 2.

	A	B	C	D	E	F	G
	Дата	Час публікації	Місце публікації	Тема/Тип	Текст	Хештеги	Геомітка
1							
2	01.Гру						
3							
4	02.Гру						
5							
6							
7							
8	03.Гру						
9							
10	04.Гру						
11							
12							
13	05.Гру						
14							
15	06.Гру						
16							
17							

Рис. 2. Приклад таблиці для планування публікацій

Сторінка, що має на меті розвиток та більше охоплення аудиторії, повинна використовувати усі функції соціальної мережі Instagram. Функція з геоміткою на фотографії надає контенту додаткові перегляди, саме тому потрібно її використовувати, адже тоді збільшується шанс на те, що висвітлену інформацію побачить цільова аудиторія та почне слідкувати за сторінкою.

Соціальна мережа Instagram у 2018 році надала можливість додавати до дописів альтернативний текст. Даний текст призначений для людей, що мають вади зору, і на даний момент цю функцію мало хто використовує, однак вона сприяє популяризації контенту. Щоб додати даний текст, при створенні допису потрібно натиснути «Розширені налаштування» та обрати «Альтернативний текст». З допомогою альтернативного тексту, допис отримуватиме додаткові перегляди, окрім переглядів, збільшується й шанс того, що даний допис попаде у рекомендації користувачам та висвітлюватиметься при запитах у пошуковій системі. Тим користувачам, що не вводять альтернативний текст, Instagram присвоює його автоматично, базуючись на аналізі фотографії, тому є ризик, що штучний інтелект не правильно зрозуміє зображення і прикріпить невідповідний текст. Даний спосіб широко використовується у SEO просуванні контенту, оскільки пошукові системи шукають за ключовими словами, тому даний спосіб популярний у людей, що розуміють цю технологію.

Хештеги можна зустріти у більшості користувачів Instagram. Часто власники сторінок використовують хештеги, що не відповідають тематиці сторінки, такий підхід має негативний вплив на розвиток профілю. Варто зазначити, що використовувати потрібно лише ті хештеги, що близькі до теми сторінки і не варто зловживати їх кількістю, бо велика кількість може відштовхнути потенційну цільову аудиторію. Слід використовувати близько п'яти хештегів на допис.

Зараз у соціальній мережі Instagram популярним способом безкоштовно прорекламувати свою сторінку є перехід по будь-якому хештегу, що близький до тематики сторінки, та вподобання нових дописів користувачів, або написання їм коментарів чи підписки на них. Даний спосіб доволі дієвий, однак потребує багато часу і ризикований, оскільки в Instagram є ліміти на кількість взаємодій із користувачами. Перевищення цього ліміту призведе до обмеження взаємодій та при регулярному порушенні цього ліміту, призведе до блокування за спам. Було проведено визначення лімітів взаємодій з користувачами на годину, та загалом на добу. Отримані результати було поділено на кількість в годину та на добу (табл. 1).

Таблиця 1

Ліміти взаємодій із користувачами Instagram

Тип взаємодій	В годину	На добу
Вподобання	40	960
Коментарі	20	480
Підписки на користувачів	25	600

Перевищення зазначених лімітів може призвести до обмеження діяльності сторінки, а при регулярному порушенні, алгоритми Instagram розцінюватимуть дії як спам, і заблокують сторінку. Однак, при грамотному використанні даних взаємодій, сторінка може безкоштовно прорекламувати себе серед цільової аудиторії. Цей спосіб доволі популярний, серед нових користувачів і активно використовується для просування своїх товарів та контенту.

Час теж є важливим чинником у розвитку сторінки, адже діяльність користувачів варіюється в залежності від часу доби. У статистиці сторінки Instagram присутні дані, що допоможуть визначити найкращий час для публікацій, однак більш зручним візуально є сервіс KeyHole. Якщо сторінка вже має опубліковані дописи, то даний сервіс допоможе з аналізом взаємодій аудиторії із контентом та висвітлить найкращі дні та години для публікацій, щоб отримувати більше вподобань (рис. 3).

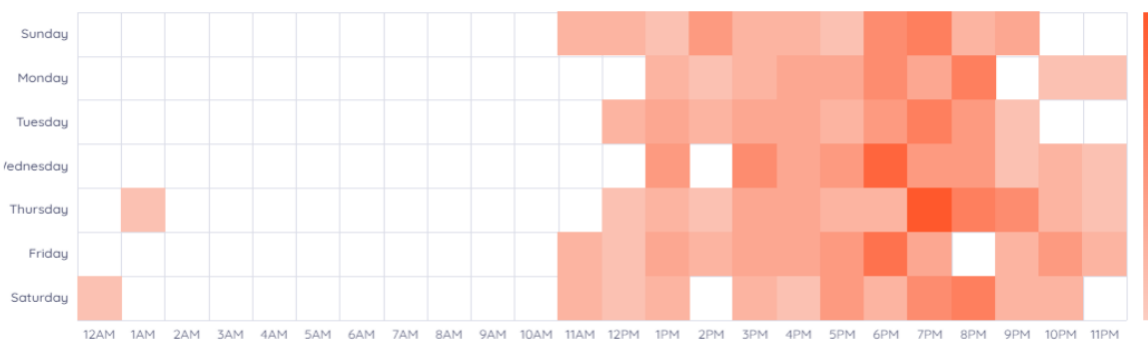


Рис. 3. Визначення найкращого часу для публікацій з допомогою сервісу KeyHole

Даний сервіс є умовно безкоштовним, однак пробна версія надає усю необхідну інформацію. Згідно із таблицею, що висвітлено на рис. 3, найбільш активними користувачі є о 19:00 в четвер, а найгіршим часом для публікацій є 12:00 та 23:00, на ці години припадає найнижча активність користувачів.

Знаючи усі основні правила оформлення дописів, користувачам соціальної мережі Instagram знадобиться певний алгоритм, що допоможе із розвитком сторінки. Було розроблено блок-схему алгоритму, на базі якої проводилися публікації та дослідження її дієвості (рис. 4).

Створена блок-схема алгоритму розвитку сторінки є універсальною, та не потребує відповідної тематики профілю, тому її можуть використовувати усі користувачі. Користуючись розробленою блок-схемою та даними, що отримано під час проведення аналізу літератури та досліджень, було проведено нове. У новому дослідженні було використано усі викладені в статті рекомендації та проведено публікацію кількох дописів у новоствореному профілі, щоб визначити дієвість розробленого комплексу.

Створюючи нові дописи для визначення дієвості комплексу заходів популяризації контенту, було використано різну кількість тематичних хештегів, деякі дописи мали 5, а декілька більше 10-ти. Увесь створений контент поширювався у соціальну мережу Twitter. Зображення було завантажено із безкоштовного банку фотографій. Кожен допис мав власноруч написаний альтернативний текст та прикріплену потрібну геометку. Після публікації дописи декілька днів отримували взаємодії, і найпопулярніший допис потрапив у рекомендовані, оскільки отримав десятки тисяч охоплень профілів та сотні вподобань (рис. 5). Правильний та тематичний вибір хештегів посприяв тому, що було здійснено 11 282 покази завдяки їм.

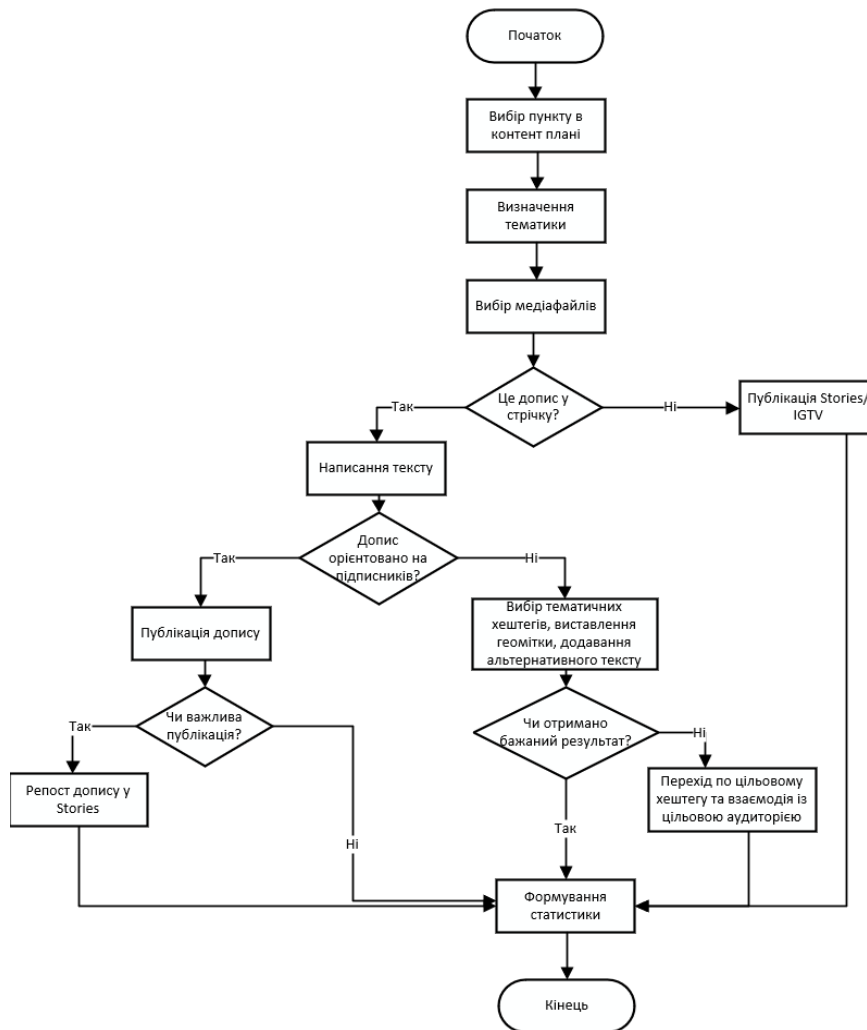


Рис. 4. Блок-схема алгоритму розвитку сторінки

З усіх користувачів, що побачили даний допис, лише 24 особи були послідовниками сторінки. У статистиці вказано, що найкраще спрацювали хештеги, однак серед джерел показів є «Інше джерело», до цієї рубрики можна віднести соціальну мережу Twitter, куди поширюється контент і користувачі звідти переходили в Instagram, та пошукову систему, де люди за ключовими словами могли натрапити на даний допис. Менш популярні дописи, що не попали в рекомендовані, отримували сотні переглядів. Таким чином, з допомогою цих простих кроків, щомісяця сторінка отримувала додатково тисячі переглядів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Соціальна мережа Instagram стала однією із найпопулярніших у світі. Багато людей по всьому світі створюють там сторінки з метою поширення своїх товарів та послуг. На заваді розвитку сторінки може стати нерозуміння правильного підходу до її ведення. Викладений у статті матеріал висвітлює розроблений комплекс заходів для безкоштовної популяризації свого контенту у соціальній мережі Instagram. Розроблена блок-схема алгоритму стане у нагоді будь-якій сторінці, вона є універсальною і не вимагає спеціальної тематики профілю. В середньому, за умови виконання усіх описаних кроків, користувач соціальної мережі Instagram отримуватиме декілька тисяч додаткових переглядів на сторінці, та збільшить шанси того, що контент попаде у рекомендоване.

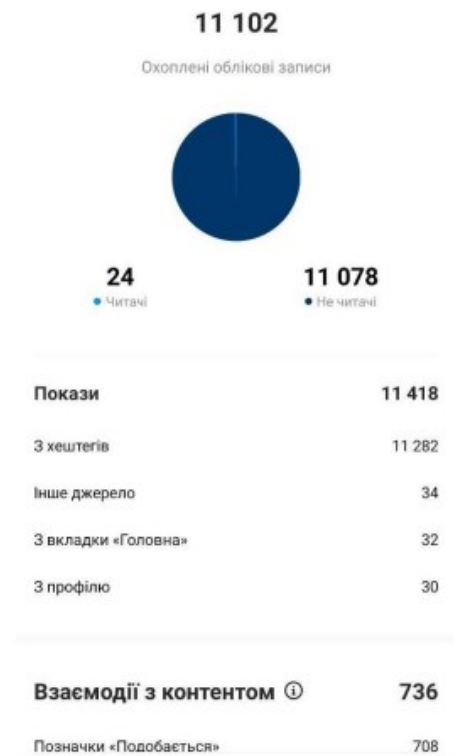


Рис. 5. Статистика найпопулярнішого допису

Література

1. Мар'їна О. Бібліотеки та соціальні медіа: технологія взаємодії [Електронний ресурс] / Олена Мар'їна // Вісник Книжкової палати. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/vkp_2012_8_8.pdf.
2. Коломієць Д. О. Дослідження впливу соціальних мереж на життя сучасної людини / Д. О. Коломієць // Актуальні задачі та досягнення у галузі кібербезпеки : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Кропивницький, 23– 25 листоп. 2016 р. – Кропивницький : КНТУ, 2016. – С. 192.
3. Дмитришин Ю. Сервіси для вдосконалення та розвитку маркетингових комунікацій в соціальній мережі Instagram [Електронний ресурс] / Ю. Дмитришин, О. В. Марковець // Інформація, комунікація, суспільство 2020 : матеріали 9-ї Міжнародної наукової конференції, 2020. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/52717>.
4. Черниш О. 3. Instagram в Україні росте швидше, ніж Facebook – дослідження [Електронний ресурс] / Олена Черниш // Громадський простір. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.prostir.ua/?kb=instagram-v-ukrajini-roste-shvydshe-nizh-facebookdoslidzhennya>.
5. Virtanen H. Follow for follow: marketing of a start-up company on Instagram [Електронний ресурс] / H. Virtanen, B. Peter, S. Elin // Journal of Small Business and Enterprise Development. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JSBED-12-2016-0202/full/html?skipTracking=true>.
6. Agung N. Opportunities and Challenges of Instagram Algorithm in Improving Competitive Advantage [Електронний ресурс] / N. Agung, G. Darma // International Journal of Innovative Science and Research Technology. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://ijisrt.com/wpcontent/uploads/2019/03/IJISRT19JA125.pdf>.
7. Wahid R. Social media marketing on Instagram: when is the most effective posting timing? [Електронний ресурс] / R. Wahid, M. Wadud // EPRA International Journal of Multidisciplinary Research. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://eprajournals.com/jpanel/upload/1016pm_54.EPRA%20JOURNALS4834.pdf.

References

1. Marina O. Biblioteki ta sotsialni media: tekhnolohiia vzaiemodii [Elektronnyi resurs] / Olena Marina // Visnyk Knyzhkovoї palaty. – 2012. – Rezhym dostupu do resursu: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/vkp_2012_8_8.pdf.
2. Kolomiets D. O. Doslidzhennia vplyvu sotsialnykh merezh na zhyttia suchasnoi liudyny / D. O. Kolomiets // Aktualni zadachi ta dosiahnennia u haluzi kiberbezpeky : materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf., m. Kropyvnytskyi, 23– 25 lystop. 2016 r. – Kropyvnytskyi : KNTU, 2016. – S. 192.
3. Dmytryshyn Yu. Servisy dlia vdoskonalennia ta rozvytku marketynhovykh komunikatsii v sotsialnii merezhi Instagram [Elektronnyi resurs] / Yu. Dmytryshyn, O. V. Markovets // Informatsiia, komunikatsiia, suspilstvo 2020 : materialy 9-yi Mizhnarodnoi naukovoї konferentsii, 2020. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/52717>.
4. Chernysh O. 3. Instagram v Ukraini roste shvydshe, nizh Facebook – doslidzhennia [Elektronnyi resurs] / Olena Chernysh // Hromadskyi prostir. – 2019. – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.prostir.ua/?kb=instagram-v-ukrajini-roste-shvydshe-nizh-facebookdoslidzhennya>.
5. Virtanen H. Follow for follow: marketing of a start-up company on Instagram [Електронний ресурс] / H. Virtanen, B. Peter, S. Elin // Journal of Small Business and Enterprise Development. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JSBED-12-2016-0202/full/html?skipTracking=true>.
6. Agung N. Opportunities and Challenges of Instagram Algorithm in Improving Competitive Advantage [Електронний ресурс] / N. Agung, G. Darma // International Journal of Innovative Science and Research Technology. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://ijisrt.com/wpcontent/uploads/2019/03/IJISRT19JA125.pdf>.
7. Wahid R. Social media marketing on Instagram: when is the most effective posting timing? [Електронний ресурс] / R. Wahid, M. Wadud // EPRA International Journal of Multidisciplinary Research. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://eprajournals.com/jpanel/upload/1016pm_54.EPRA%20JOURNALS4834.pdf.

Рецензія/Peer review : 26.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

ШАХОВСЬКА Н.

ORCID ID: 0000-0002-6875-8534

e-mail: nataliya.b.shakhovska@lpnu.ua

СИДОР П.

ORCID ID: 0000-0002-0559-9636

e-mail: petro.sydor.knm.2019@lpnu.ua

Національний університет «Львівська політехніка»

РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ БЕЗПЕЧНИХ ТУРИСТИЧНИХ ПОДОРОЖЕЙ

Роботу спрямовано на розроблення інформаційної технології планування безпечних туристичних подорожей. Ключовими елементами такої технології є модуль вибору туристичних місць, модуль аналізу відгуків інших користувачів, модуль планування/модифікації маршруту, модуль прогнозування настання надзвичайних ситуацій. Останній модуль складається з кількох моделей машинного навчання. Усі натреновані моделі перевіряються на адекватність, та в подальшому будуть використовуватися для прогнозування ймовірності настання лісової пожежі. Вихідні дані розробленої системи надають користувачу розуміння ситуації відносно ймовірності настання лісової пожежі. Дані обчислюються в якості передбачення на основі вихідних даних і створюють прогноз для даного набору характеристик.

Ключові слова: інформаційна система, архітектура системи, модель машинного навчання, препроцесинг даних

NATALIYA SHAKHOVSKA, PETRO SYDOR
Lviv Polytechnic National University

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF THE SAFE TRAVEL PLANNING SYSTEM

The paper is aimed at developing information technology for planning safe tourist trips. The difficulty of building a tourist route is to give the user the opportunity to build it with interesting tourist attractions. This kind of problem can be classified as a combinatorial optimization problem, the solution of which will be the salesman's problem in its open version. Solving optimization problems is performed using various algorithms, but they have the following disadvantages: - all algorithms often have limitations of local solutions; - only one solution is used as a source; - each method is quite sensitive to the choice of conditions.

The key elements of this technology are the module of choice of tourist places, the module of analysis of responses of other users, the module of planning / modification of a route, the module of forecasting of occurrence of emergency situations. The last module consists of several models of machine learning. All trained models are tested for adequacy and will be used in the future to predict the likelihood of a forest fire. The initial data of the developed system provide the user with an understanding of the situation regarding the probability of a forest fire. Data are calculated as predictions based on the original data and create a forecast for this set of characteristics. As a source, the user will receive an apology visualization in the form of a graph for a specific data set, as well as a map with a prediction for a specific region for easier visual perception.

The route planning and navigation system can be used for mobile devices such as PDAs and mobile phones. It includes three main functions: (1) access updated information about the place of interest; (2) plan a specific day for the user according to his / her preferences; (3) user navigation of the selected travel route and dynamic rescheduling. Service-oriented architecture (SOA) in combination with middleware methods and web services is used to design and implement system architecture.

The system has a functional personal page of the user, which will display personal information of the user. The page is used to identify the user as well as his preferences. The system has two-factor authorization to log in. All personal data of users is stored in encrypted form and can be securely protected from theft. User authorization is performed at different levels: editing level, viewing level, change monitoring and analysis level.

Keywords: information system, system architecture, machine learning model, data preprocessing.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Туризм є основною метою економічного відновлення, оскільки він може приносити великий дохід завдяки низьким інвестиціям та високій прибутковості. Багато країн, які мають туристичні визначні пам'ятки, ставлять важливі цілі для відродження економіки та постійного розвитку, зосереджені на своїх туристичних пам'ятках. Туристи з кількох країн створюють нові стилі подорожей та нові експериментальні методи пошуку. Готельний бізнес розраховує на успішних туристів для зростання. Планування туру необхідне, коли стилі групових або сімейних поїздок стають популярними та збільшуються в розмірі чи складності [1].

Туристичні інформаційні системи є невід'ємною частиною прийняття рішень щодо відвідування привабливих туристичних місць, які також називають «орієнтирами». Ранжування, послідовність, маршрутизація та вибір пам'яток для огляду протягом певного періоду часу є складними процесами з точки зору задоволення потреб усіх членів групи [2].

Туристична сфера потребує сучасних мобільних інформаційних технологій для запровадження індивідуальних туристичних маршрутів. Мобільні персональні інформаційні системи використовуються для підтримки прийняття рішень туриста під час планування подорожі. Зокрема, йде мова про побудову маршрутів. Індивідуальний туризм передбачає самостійний вибір міста, готелю, транспорту чи закладу

харчування. Подорож буде сплановано самостійно за обраним маршрутом і в зручні терміни, поїздка буде включати цікаві екскурсії для кожного. Побудова туристичних маршрутів розглянута у [1 – 4].

Аналіз досліджень та публікацій

Багато дослідників вивчали планування туризму та розробку маршрутів подорожі протягом визначеного періоду часу для створення програмного забезпечення систем планування туризму. Програмне забезпечення для планування турів та розробки маршруту поїздки зосереджено на збалансуванні послідовностей відвідувань у межах часового вікна для підтримки відвідування найбільшої кількості орієнтирів з найменшою відстанню та витратами. Це допомагає мандрівникам легше приймати рішення щодо маршруту поїздки та вибору місця [3,4,5,6,7,8].

Суттєвою проблемою в плануванні туризму є задоволеність усіх учасників поїздки, яку важко вирішити. Тому різні туристичні стилі членів сім'ї створюють складну ситуацію з точки зору програмного забезпечення створення системи планування туризму. Туристичний стиль є причиною кількох факторів, що стосуються задоволеності туром. Багато факторів впливають на задоволеність учасників подорожі, наприклад, їхні різні інтереси, культура, бюджет, часові обмеження, а також уподобання в їжі та напоях [9]. Відвідування найбільшої кількості визначних пам'яток, низькі витрати, цікаві види діяльності, зручне транспортне сполучення, доступні засоби, а також низькі відстані та витрати часу є важливими факторами для планування туризму [7].

З іншого боку, безпека подорожі є тим фактором, який слабо врахований у дослідженнях. Йде мова про визначення ймовірності настання природних та антропогенних явищ та корекцію маршруту.

Складність побудови туристичного маршруту полягає у наданні користувачеві можливості його прокладання цікавими туристичними пам'ятками. Такого роду завдання можна класифікувати як задачу комбінаторної оптимізації, рішенням якої буде задача комівояжера в її незамкненому варіанті [8]. Вирішення задач оптимізації виконують за допомогою різноманітних алгоритмів, але вони мають наступні недоліки: – всі алгоритми часто мають обмеження локальних рішень; – у якості вихідного використовується лише один варіант рішення; – кожен метод є досить чутливим до вибору умов.

Сьогодні послуги з планування самостійних поїздок надають кілька компаній, серед яких – Free Travel[2], TripAdvisor[3], а також численні невеликі сервіси та приватні особи. Сервіс Free Travel дозволяє планувати та організувати індивідуальні подорожі. На сторінках сайту можна знайти довідкову інформацію для мандрівника про транспорт, місця проживання чи визначні пам'ятки. Окрім цього сайт надає можливість оформити паспорт чи візу, придбати квиток на літак, автобус чи потяг, а також забронювати готель посилаючись на сайти партнери. Сервіс Free Travel вважають самовчителем для початкових мандрівників. З матеріалів користувач має змогу дізнатися як подорожувати самостійно, оскільки вся інформація заснована на особистому досвіді його засновників. На сторінках сайту можна дізнатися як заощадити час і гроші, є можливість знайти дешеві авіаквитки, квитки на автобуси чи поїзди, переглянути інформацію про готелі й інші варіанти житла, а також ознайомитися з рекомендаціями щодо відвідування міст і культурних пам'яток з їх розташуванням.

Ще одним туристичним сервісом є американський сайт подорожей TripAdvisor. Він допоможе продумати основні нюанси поїздки, подивитися перелік визначних пам'яток й забронювати готельний номер чи столик у закладі громадського харчування. Послуги на сайті є безкоштовними для користувачів завдяки створенню ними більшої частини контенту. Саме тому сервіс можна вважати міжнародною базою експертних і користувальницьких відгуків.

Обрані додатки позиціонують себе як туристичні сервіси, але кожен має свої недоліки. Сервіс Free Travel важко назвати планувальником маршруту, оскільки на його сторінках присутня інформація рекомендаційного характеру, що не дає повної картини для організації подорожі. На сторінках сайту TripAdvisor можна ознайомитися з туристичними пам'ятками, переглянути до них відгуки реальних користувачів, а також додати деякі місця до обраних для майбутньої подорожі, що дозволяє попередньо продумати основні деталі поїздки. Головним недоліком цих додатків є те, що з їх допомогою немає можливості розробити туристичний маршрут. Підтримка вибору туристичного маршруту дозволила б користувачам досить швидко зрозуміти траєкторію свого руху, спланувати час та можливості.

Проаналізувавши, існуючі рішення, визначено мету роботи – побудувати інформаційну технологію планування безпечних туристичних подорожей. Ключовими елементами такої технології має бути:

- Модуль вибору туристичних місць,
- Модуль аналізу відгуків інших користувачів,
- Модуль планування/модифікації маршруту,
- Модуль прогнозування настання надзвичайних ситуацій..

Виклад основного матеріалу

Для пошуку об'єкта на зображенні як одного із способів класифікації за рівнем стресостійкості нам потрібна база ознак об'єктів. Наповнювати базу планується за процедури попереднього відбору ознак, розробленої на попередньому етапі. Для таких об'єктів система має виділити ознаки, проветси класифікацію об'єкта, та зберегти його в базі. База класифікованих об'єктів буде використана в майбутньому для пошуку схожих об'єктів

Перш за все, визначимо вимоги до архітектури та функціональних особливостей інформаційної технології планування безпечних туристичних подорожей

Ключові аспекти системи:

- o Integration: інтеграція з службами електронної пошти, SMS та іншими засобами швидкого інформування.
- o Simplistic and Intuitive: система повинна бути простою та зрозумілою у використанні, легкою в освоєнні для нових користувачів.
- o Flexibility: система повинна підтримувати можливість збільшення кількості користувачів та додавання нових моделей у модуль прогнозу настання надзвичайних ситуацій.
- o Reliability: система повинна бути надійною, зберігати усі повідомлення, навіть у разі відмови та мати механізм автоматичного повторного відправлення у разі відновлення системи.
- o Security: система повинна мати достатній рівень безпеки та захисту від проникнення і крадіжки даних, оскільки переписки та дані для прогнозування настання надзвичайної ситуації в ній – це конфіденційна інформація, яка повинна бути захищена від стороннього доступу.

Функціональні вимоги

Система повинна мати функціонал особистої сторінки користувача, на якій буде відображатись персональна інформація користувача. Сторінка використовується для ідентифікації користувача, а також його вподобань.

Система повинна мати двофакторну авторизацію для входу в систему.

Усі особисті дані користувачів повинні зберігатись в зашифрованому вигляді та бути надійно захищені від викрадення.

Авторизація користувача здійснюється на різних рівнях

- Рівень редагування
- Рівень перегляду
- Рівень моніторингу змін та аналізу.

На рис. 1 подано діаграму сутність-зв'язок.

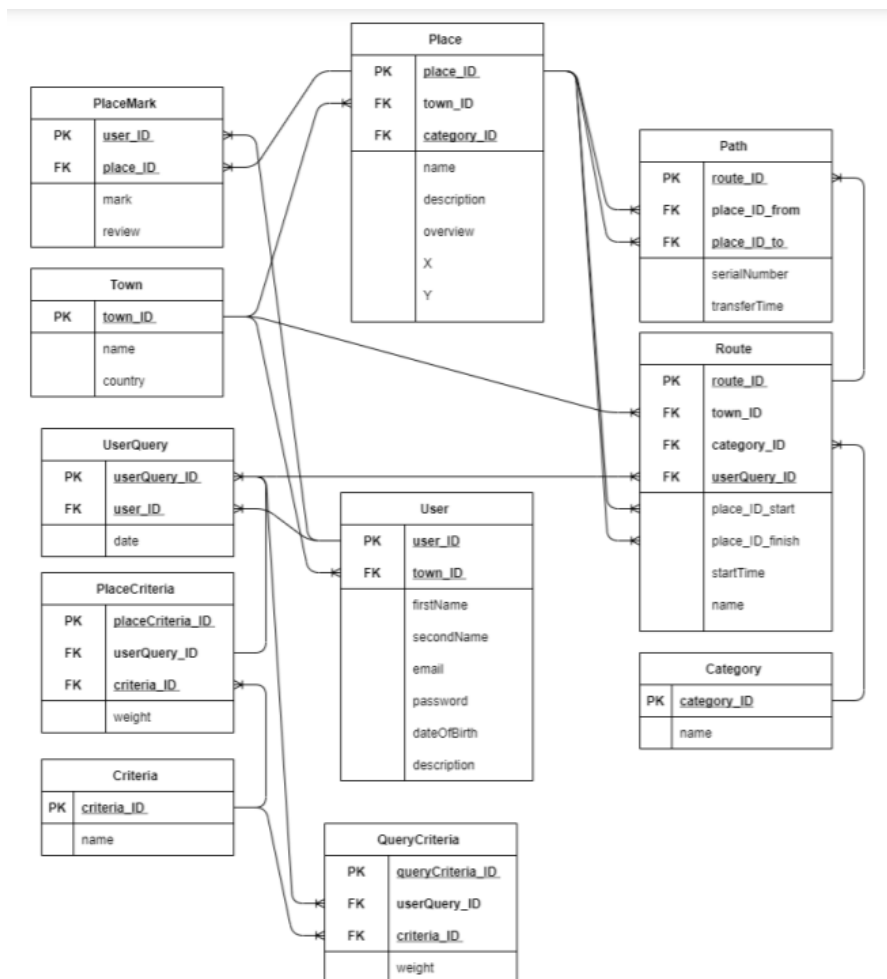


Рис. 1. Діаграма сутність-зв'язок

На рис. 2 подано діаграму компонентів.

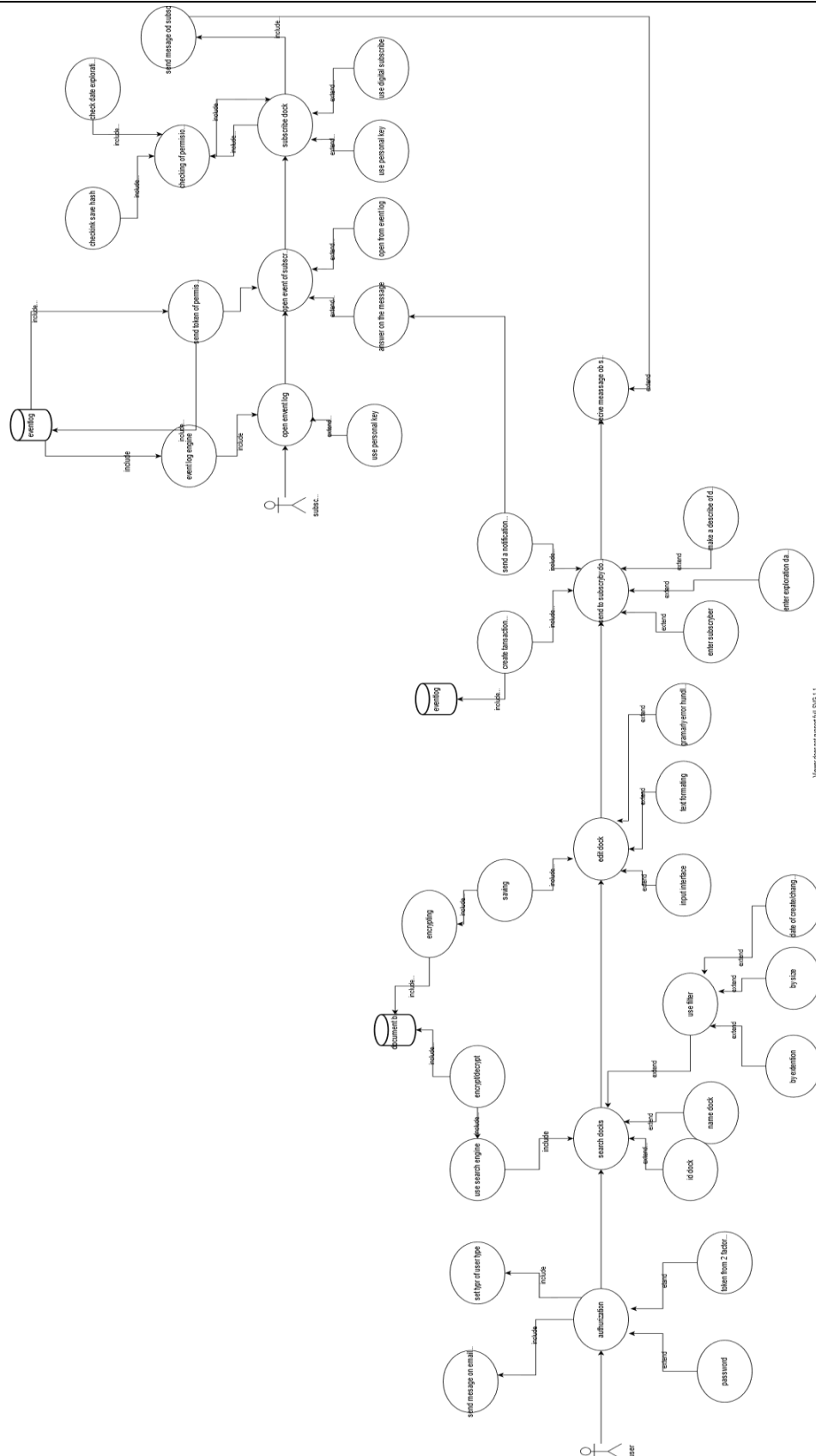


Рис. 2. Діаграма компонентів

Функціями користувача є авторизуватися, знайти туристичні одиниці, редагувати маршрут, додати до маршруту новий туристичний об'єкт. Також передбачено створення повідомлень та їх розсилання.

Для адміністратора передбачено можливість аналізувати події системи.

Серверна частина була розроблена на платформі Microsoft .NET за допомогою фреймворку Microsoft ASP.NET WEB API та мови програмування C#. Запити до серверу дотримувалися протоколу HTTPS та були оформлені згідно зі стандартом REST. Всі сутності в додатку виділені в окремі моделі.

Залежно від поставленого завдання та складності програми виділяється різна кількість моделей. Так, для серверної частини мобільного додатку використовувалися 11 моделей: клас User для користувачів додатку, клас Route для маршруту, клас Path для шляху, клас Place для місця, клас PlaceMark для оцінки місця, клас Category для категорій місць, клас Town для міст, клас UserQuery для маршрутів користувачів, клас PlaceCriteria для критеріїв місць, клас Criteria для критеріїв, клас QueryCriteria для критеріїв маршруту.

На рис. 3 представлено UML діаграму модуля прогнозування виникнення надзвичайно ситуації.

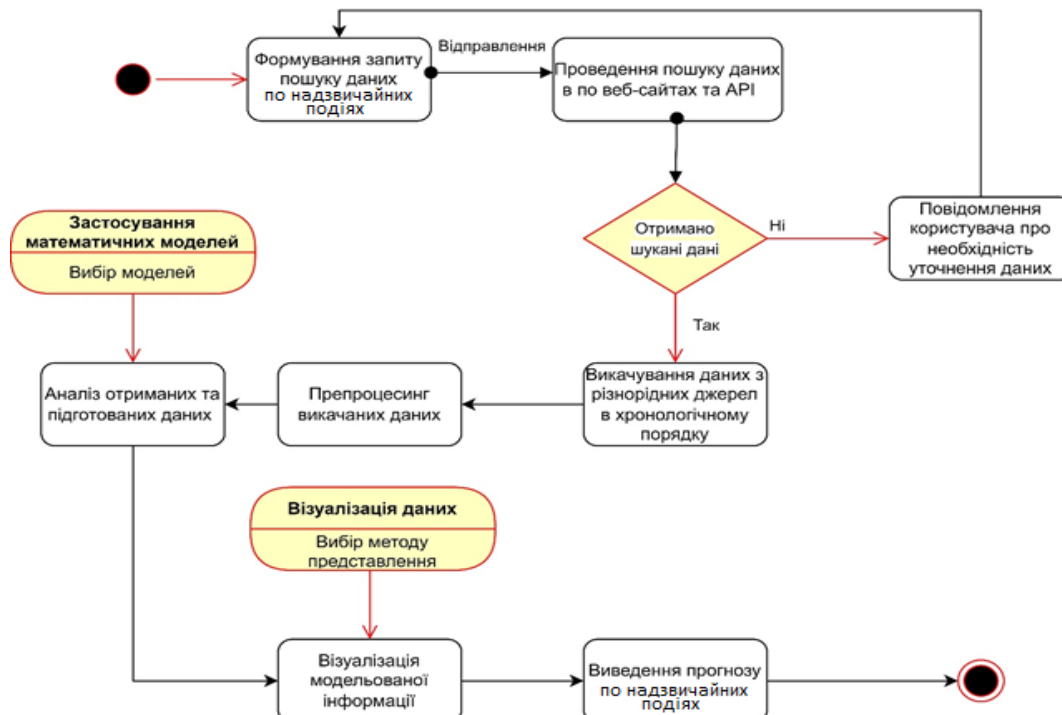


Рис. 3. Модуль прогнозування виникнення надзвичайної ситуації

Наступним кроком є препроцесинг даних, оскільки вони отримані з різних джерел, в різних форматах, а як наслідок використовувати їх для проведення прогнозування неможливо. В нашому випадку дані потрібно збирати власноруч. Для цього процес збирання даних буде в більшій мірі складатися з їх аналізу.

Підготовані та очищені дані вже можна використати для проведення аналізу та прогнозування поширення інфекцій. Проте, для проведення аналізу поширення інфекції необхідно мати моделі, які будуть натреновані для прогнозування поширення інфекційних захворювань. Цей процес включає в себе такі етапи: підготовка набору даних; тренування моделей; тестування; збереження. Усі натреновані моделі перевіряються на адекватність, та в подальшому будуть використовуватися для прогнозування ймовірності настання лісової пожежі. Вихідні дані розробленої системи надають користувачу розуміння ситуації відносно ймовірності настання лісової пожежі. Дані обчислюються в якості передбачення на основі вихідних даних і створюють прогноз для даного набору характеристик.

У вигляді вихідних даних користувач отримуватиме візуалізацію пробачення у вигляді графіку для певного набору даних, а також карту з передбаченням для певного регіону для простішого візуального сприйняття. Блок візуалізації дозволяє представити дані в необхідному вигляді – представлення на карті ймовірності настання лісової пожежі по різних територіях

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблено архітектуру інформаційної технології планування безпечних туристичних подорожей. Передбачено модуль вибору туристичних місць, модуль аналізу відгуків інших користувачів, модуль планування/модифікації маршруту, модуль прогнозування настання надзвичайних ситуацій.

Система для планування туристичного маршруту та навігації може бути використана для мобільних пристроїв, таких як КПК, і мобільні телефони. Включає три основні функції: (1) отримати доступ до оновленої інформації про цікаве місце; (2) спланувати певний день для користувача відповідно до його/її уподобань; (3) навігація користувача вибраним маршрутом подорожі та динамічне перепланування. Сервісно-орієнтована архітектура (SOA) у поєднанні з методами проміжного програмного забезпечення та веб-сервісами застосовується для проектування та реалізації архітектури системи.

Література

1. Garcia A., Arbelaitz O., Linaza M.T., Vansteenwegen P., Souffriau W. (2010) Personalized Tourist Route Generation. In: Daniel F., Facca F.M. (eds) Current Trends in Web Engineering. ICWE 2010. Lecture Notes

in Computer Science, vol 6385. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16985-4_47

2. Yu Zhuang, Shuili Yang, Asif Razzaq, Zeeshan Khan. (2021) Environmental impact of infrastructure-led Chinese outward FDI, tourism development and technology innovation: a regional country analysis. *Journal of Environmental Planning and Management* 0:0, pages 1-33

3. Zhen, S., & Gao, W. (2017). Geological tourist route planning of Henan province based on geological relics zoning. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1(1), 66-69.

4. Khamsing, N., Chindaprasert, K., Pitakaso, R., Sirirak, W., & Theeraviriya, C. (2021). Modified ALNS Algorithm for a Processing Application of Family Tourist Route Planning: A Case Study of Buriram in Thailand. *Computation*, 9(2), 23.

5. Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., Pantziou, G., & Vathis, N. (2015). Heuristics for the time dependent team orienteering problem: Application to tourist route planning. *Computers & Operations Research*, 62, 36-50.

6. Ayala, I., Mandow, L., Amor, M., & Fuentes, L. (2017). A mobile and interactive multiobjective urban tourist route planning system. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(1), 129-144.

7. Ayala, I., Mandow, L., Amor, M., & Fuentes, L. (2012, December). An evaluation of multiobjective urban tourist route planning with mobile devices. In *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence* (pp. 387-394). Springer, Berlin, Heidelberg.

8. Zhou, X., Sun, B., Li, S., & Liu, S. (2020). Tour Route Planning Algorithm Based on Precise Interested Tourist Sight Data Mining. *IEEE Access*, 8, 153134-153168.

9. Nadi, S., & Delavar, M. R. (2011). Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 322-335.

Bibliography

1. Garcia A., Arbelaitz O., Linaza M.T., Vansteenwegen P., Souffriau W. (2010) Personalized Tourist Route Generation. In: Daniel F., Facca F.M. (eds) *Current Trends in Web Engineering. ICWE 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6385. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16985-4_47

2. Yu Zhuang, Shuili Yang, Asif Razzaq, Zeeshan Khan. (2021) Environmental impact of infrastructure-led Chinese outward FDI, tourism development and technology innovation: a regional country analysis. *Journal of Environmental Planning and Management* 0:0, pages 1-33

3. Zhen, S., & Gao, W. (2017). Geological tourist route planning of Henan province based on geological relics zoning. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1(1), 66-69.

4. Khamsing, N., Chindaprasert, K., Pitakaso, R., Sirirak, W., & Theeraviriya, C. (2021). Modified ALNS Algorithm for a Processing Application of Family Tourist Route Planning: A Case Study of Buriram in Thailand. *Computation*, 9(2), 23.

5. Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., Pantziou, G., & Vathis, N. (2015). Heuristics for the time dependent team orienteering problem: Application to tourist route planning. *Computers & Operations Research*, 62, 36-50.

6. Ayala, I., Mandow, L., Amor, M., & Fuentes, L. (2017). A mobile and interactive multiobjective urban tourist route planning system. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(1), 129-144.

7. Ayala, I., Mandow, L., Amor, M., & Fuentes, L. (2012, December). An evaluation of multiobjective urban tourist route planning with mobile devices. In *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence* (pp. 387-394). Springer, Berlin, Heidelberg.

8. Zhou, X., Sun, B., Li, S., & Liu, S. (2020). Tour Route Planning Algorithm Based on Precise Interested Tourist Sight Data Mining. *IEEE Access*, 8, 153134-153168.

9. Nadi, S., & Delavar, M. R. (2011). Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 322-335.

Рецензія/Peer review : 10.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

СОКОЛОВСЬКА О. Г.

ORCID ID: 0000-0003-4326-1932
e-mail: sokolovskaya_alena@meta.ua

ВАЛЕВСЬКА Л. О.

ORCID ID: 0000-0003-0511-5643
e-mail: ludmila_valev@ukr.net

ШОФУЛ І. І.

e-mail: igorshoful@ukr.net

Одеська національна академія харчових технологій

3D ТЕХНОЛОГІЇ – СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНЖИНІРИНГУ ПІДПРИЄМСТВ ГАЛУЗІ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

Робота присвячена аналізу сучасного програмного забезпечення для розробки 3D моделі промислових об'єктів. Розглянуто основні характеристики програмного забезпечення та можливості їх використання для підприємств галузі зберігання зерна, з урахуванням їх специфіки.

Ключові слова: програмне забезпечення, проектування, 3D технології, 3D модель, системи автоматизованого проектування.

OLENA SOKOLOVSKAYA, LYDMILA VALEVSKAYA, IGOR SHOFUL
Odessa National Academy of Food Technologies

3D TECHNOLOGIES - A MODERN APPROACH TO AUTOMATED DESIGN AND TECHNOLOGICAL ENGINEERING ENTERPRISES IN THE GRAIN STORAGE INDUSTRY

Today, enterprises of various industries, including enterprises in the grain storage industry, are faced with the need for reconstruction, modernization and expansion of production. However, the implementation of such projects is often not possible, since the exact design documentation is either completely absent or outdated and does not meet modern requirements. Moreover, today an increasing number of projects are being carried out in a three-dimensional environment and simple flat drawings are no longer a sufficient basis for design.

3D design is a huge step forward in engineering and its use significantly increases the competitiveness of a design organization in the market. 3D technologies are one of the most important areas of design automation, no one has any doubts about the need to use them both at the design stage and directly during the construction of industrial facilities.

Choosing the optimal simulation software is often difficult, as it is not easy to find a program that has all the necessary functionality. In the course of the research we analyzed the possibilities of several popular programs for 3D modeling and the possibility of their use in the process of designing enterprises in the field of grain storage.

Thanks to the use of three-dimensional technology, the enterprise gets the opportunity to implement the project in a better quality and in a shorter time, to find errors even before the production of prototypes, and after all, correcting various shortcomings at the design stage is hundreds of times cheaper than at the production stage. Another advantage of 3D models is that they can be transferred to pre-production systems that automatically create programs. This significantly speeds up the production cycle.

3D-design of the elevator becomes a necessity: this is the only way to quickly make a complete virtual model of the elevator with all the nodes, where you can see the route of the grain through the future elevator. This avoids many of the errors that occur when designing only on the basis of a linear model.

Keywords: software, design, 3D technology, 3D model, computer-aided design systems.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В Україні не припиняється активне будівництво нових зернозберігальних і переробних потужностей. Зведення будь-якого елеватору чи заводу починається з проекту і замовник не лише очікує, що в ньому будуть враховані всі вимоги до майбутнього виробництва.

Термін "проектування" має різні визначення. Відповідно до одного з них: проектування (від лат. "projectus", буквально - кинутий вперед), процес створення проекту - прототипу, прообразу передбачуваного чи можливого об'єкта, стану. Відповідно до іншого – проектування у будівництві, техніці – розробка проектної, конструкторської та ін. технічної документації, призначеної для здійснення капітального будівництва (будь-якого об'єкта), створення нових видів та зразків продукції промисловості.

У процесі проектування виконуються технічні та економічні розрахунки, схеми, графіки, пояснювальні записки, макети, складаються специфікації, кошториси, калькуляції та описи [1-3]. Розглядаючи проектування, необхідно сказати, що воно є складовою інжинірингової діяльності, яка у свою чергу має ширшу спрямованість.

Технологічний інжиніринг визначають як сукупність інтелектуальних видів діяльності, що має своєю кінцевою метою отримання найкращих (оптимальних) результатів від капіталовкладень чи інших витрат, пов'язаних з реалізацією проектів різного призначення за рахунок найбільш раціонального підбору у ефективного використання матеріальних, трудових, технологічних і фінансових ресурсів у їх єдності і взаємозв'язку, а також методів організації та управління, на основі передових науково-технічних досягнень і з урахуванням конкретних умов та проектів.

Аналіз досліджень та публікацій

Останнім часом набирає популярності тривимірне моделювання в процесі проектування промислових об'єктів, розширюючи цим межі можливої діяльності інжинірингової компанії.

Інтерес обумовлений багатьма причинами:

- по-перше, замовник хоче бачити, яким вийде його об'єкт у реальному втіленні. 3D-модель це дозволяє зробити на стадії проектування.

- по-друге, у процесі проектування переробляється величезний обсяг інформації. Тому тут складно обійтися без помилок, що нерідко виявляються на будівельному майданчику, а 3D-модель реально знижує відсоток помилок у проєкті. Це відіграє важливу роль у плануванні витрат за виробництво будівельних робіт.

- по-третє, якщо виконувати проєкт повністю в тривимірному просторі, з використанням систем автоматизованого проектування (САПР) з централізованим зберіганням даних, це дозволяє багаторазово збільшити швидкість проектування, супроводжуючи об'єкт на всьому протязі життєвого циклу - від створення і розробки, до модернізації і виведення з експлуатації. З іншого боку, експлуатуючі організації мають можливість управляти усіма даними [3, 4].

Нині без використання високотехнологічних рішень з урахуванням обчислювальної техніки важко уявити процес проектування.

Швидкий розвиток обчислювальної техніки та відповідного програмного забезпечення призвело до того, що процес проектування сучасних підприємств галузі зберігання зерна став немислимим без застосування систем автоматизованого конструювання – CAD (Computer Aided Design), автоматизованої підготовки виробництва – CAM (Computer Aided Manufacturing) та автоматизованого інженерного аналізу та моделювання - CAE (Computer Aided Engineering) [1-4].

Практично всі програми, що реалізують зазначені можливості, ґрунтуються на тривимірному поданні виробу, що дозволяє працювати з математичною твердотільною моделлю як із фізичним прототипом. Цей підхід став стандартом проведення інженерних розробок як за кордоном, а й у провідних українських підприємствах.

Сьогодні найважливішим етапом проектування промислових підприємств, цивільних об'єктів та об'єктів інфраструктури є інформаційне 3D-моделювання. За допомогою 3D-моделей спрощується взаємодія проєктувальників і замовника, що дозволяє точно і своєчасно врахувати всі вимоги [5].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є проаналізувати існуючі 3D технології для створення тривимірного макету підприємств галузі зберігання зерна.

Виклад основного матеріалу

Вибір оптимального програмного забезпечення для моделювання часто буває важким, так як непросто знайти програму, в якій був би весь необхідний функціонал. В процесі дослідження нами проаналізовано можливості кілька популярних програм для 3D моделювання та можливість їх використання у процесі проектування підприємств галузі зберігання зерна.

Таблиця 1

Аналіз програмного забезпечення для розробки 3D моделі підприємств галузі зберігання зерна

Назва	Опис програми	Застосування при проектуванні підприємств галузі зберігання зерна
AutoCAD	Програма проектування і креслення в 2D і 3D з потужним механізмом моделювання, що забезпечує високу якість будь-яких проєктів. Наявність функції параметричного креслення сприяє зменшенню витрат часу на виконання проєктів. У програмі присутні зв'язки між об'єктами, які забезпечують автоматичне оновлення проєкту при будь-яких змінах. Система 3D моделювання AutoCAD, крім іншого, підтримує роботу з твердотілими моделями, поверхнями та мережами, а також дозволяє візуалізувати модель за допомогою власної системи рендерингу [5-7].	Дозволяє вирішити практично весь спектр завдань, з якими стикаються фахівці розробки проєктів будь-якої складності.
ProEngineer	Розробка американської корпорації Parametri Technology Corporation (PTC). Даний продукт є системою автоматизованого 2D і 3D-моделювання. Завдяки наявності різних модулів в програмі її налаштування дуже гнучке і легко знаходить підхід до специфіки підприємства, дозволяючи організувати паралельно проектування виробу та підготовку виробництва до виготовлення. Будь-яка зміна, внесена на будь-якому етапі проектування в електронну документацію створюваного проєкту, автоматично відстежується в усіх його можливих областях, які можуть бути будь-яким чином пов'язані з цією зміною. Програма орієнтована на мислення інженера та оперує інженерними термінами, тому підхід до побудови деталей та створення збірок є цілком природним та інтуїтивно зрозумілим [5,8].	Повний інструментальний пакет, що забезпечує комплексне вирішення завдань розробки виробу і відповідає сучасним вимогам глобально розподілених виробничо-конструкторських груп.

Назва	Опис програми	Застосування при проектуванні підприємств галузі зберігання зерна
T FLEX CAD	<p>Професійна конструкторська програма, що поєднує в собі потужні параметричні можливості 2D і 3D-моделювання із засобами створення та оформленням креслень і конструкторської документації. Технічні нововведення і висока продуктивність в поєднанні зі зручним і зрозумілим інтерфейсом роблять програму універсальним і ефективним засобом 2D і 3D-проектування виробів.</p> <p>TFLEX CAD застосовують для вирішення проектних завдань в різних галузях промисловості: машинобудуванні, приладобудуванні, будівництві тощо [5, 9]</p>	<p>Дозволяє вирішити практично весь спектр завдань, з якими стикаються фахівці розробки проектів будь-якої складності.</p>
SolidWork	<p>Найбільш популярний продукт для інженерного проектування і 3D-моделювання. Це повноцінний набір для конструювання виробів в цифровому вигляді, який містить в собі безліч додаткових інструментів, що дозволяють робити над моделлю віртуальні технічні випробування. SolidWorks вважається невід'ємною частиною промислових підприємств, завданням яких є розробка і виробництво виробів різного призначення. Сюди входять інженерні конструкції будь-якої складності:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 3D проектування різноманітних виробів, промислових деталей та складання незалежно від складності; – створення різноманітної конструкторської документації, яка використовується на промисловий дизайн та найважливіший сучасне виробництво; – реверсивний інжиніринг; – проектування різноманітних комунікацій, наприклад, ліній трубопроводів; виконання інженерного аналізу та інші функції [5, 10]. 	<p>Програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності та призначення.</p>
CADWorx Plant Professional	<p>Програмний комплекс CADWorx Plant Professional призначений для швидкого і ефективного створення інтелектуальних 3D моделей промислових об'єктів і обладнання. Відмінною рисою цієї програми є неймовірна гнучкість і широкі можливості інтеграції з іншими системами.</p> <p>Крім інструментів для моделювання металоконструкцій та обладнання, до складу цього програмного продукту також включені функції проектування повітропроводів і кабельних лотків, систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC), що дозволяють використовувати компоненти і перехідні елементи будь-якої форми. У CADWorx всі елементи трубопроводів об'єднуються в єдину систему, що дозволяє проектувальнику змінювати їх розміри і специфікації одночасно, а не окремо [5, 11].</p>	<p>CADWorx Plant Professional призначений для тривимірного проектування та моделювання промислових об'єктів. Дозволяє вирішити практично весь спектр завдань, з якими стикаються фахівці при розробці проектів будь-якої складності.</p>
AutoCAD Civil 3D	<p>Будучи основним інструментом фахівців у галузі землеустрою, проектувальників генерального плану, проектувальників лінійних споруд, програмний продукт AutoCAD Civil 3D дає можливість ефективно управляти процесом проектування на будь-якій його стадії. AutoCAD Civil 3D забезпечує динамічну взаємодію всіх об'єктів, створюючи цілісну систему і надаючи можливість внесення змін до проекту на всіх етапах проектування. Крім того, Civil 3D забезпечує одночасну спільну роботу кількох фахівців над одним проектом. Таким чином, ця САПР дозволяє зменшити тимчасові витрати на розробку проекту, його оцінку та підготовку вихідної документації, а також оптимізувати весь процес проектування в цілому. Зменшуючи витрати, ми збільшуємо його прибутковість [5, 6, 12].</p>	<p>При проектуванні підприємств галузі зберігання зерна може використовуватися при проектуванні генплану та об'єктів інфраструктури.</p>
AutoCAD Map 3D	<p>AutoCAD Map 3D дозволяє працювати з даними САПР і ГІС, що надходять з різних джерел. Використовуючи комплексні моделі систем газо-і електропостачання, водопроводу і каналізації, ви зможете впорядкувати інформацію про об'єкти, підпорядкувавши її нормам галузевих стандартів і бізнес-вимог.</p> <p>Програма AutoCAD Map 3D призначена для професіоналів в області ГІС: інженерів, проектувальників, технічних працівників та інших фахівців, які в процесі своєї роботи створюють, обробляють і виготовляють карти, займаються плануванням інфраструктури, аналізують картографічну інформацію і використовують при цьому дані різних типів і форматів. Такі дані можуть включати векторну і растрову графіку в різних картографічних форматах, а також бази даних (як з геометричними об'єктами, так і з атрибутами), отримані з різних джерел [5, 6, 13].</p>	<p>Застосування AutoCAD Map 3D найбільш доцільно при проектуванні комунального господарства (електрика, газ, водопостачання), нафтогазовидобувної промисловості, сільського господарства і т.д. AutoCAD Map 3D чудово підходить у тих випадках, коли для вирішення завдань управління ресурсами або інфраструктурою необхідне точне графічне середовище.</p>

Назва	Опис програми	Застосування при проектуванні підприємств галузі зберігання зерна
AutoCAD Structural Detailing	AutoCAD Structural Detailing є потужним рішенням для швидкого та ефективного деталювання та автоматичного спорудження робочих креслень сталевих та залізобетонних конструкцій. AutoCAD Structural Detailing, заснований на платформі AutoCAD, надає засоби швидкого і ефективного деталювання, а також створення робочих креслень для виготовлення сталевих і залізобетонних конструкцій. Програма підтримує технологію інформаційного моделювання будівель і створена спеціально для проєктувальників і виробників будівельних конструкцій. AutoCAD Structural Detailing створений спеціально для проєктувальників будівельних конструкцій, надаючи їм широкий набір інструментів у звичному середовищі AutoCAD [6, 14].	Створення робочих креслень для виготовлення сталевих та залізобетонних конструкцій [16].
Sweet Home 3D ArchiCAD Home Plan Pro ЛИРА-САПР Home and Landscape Design	Програми для оформлення дизайну та проєктування житлових не виробничих приміщень. Вони не вимагають спеціальних знань. З використанням цих можна створити 2D-план певного приміщення, розмістити вікна, двері та меблі та відтворити все це в інтерактивному 3D. Бібліотека програм має великі каталоги будівельних конструкцій, які постійно оновлюються [5, 15].	Не виробничі приміщення

Будівництво чи реконструкція будь-якого елеватора починається зі створення проєктної документації. Щоб наочно уявити майбутній комплекс у цілому, детально промалювати окремі його вузли і таким чином візуально зв'язати цю модель з технологічною схемою, краще створити 3D-модель, що дає наочний образ майбутнього зерносховища [16].

Маючи 3D-модель, можна її модифікувати під нові вимоги змінити діаметр чи висоту силосу, додати або прибрати яруси тощо.

Зміни одних елементів приведуть до зміни інших: збільшення діаметра силосу тягне за собою автоматичну зміну (перебудовування) діаметра розташування вертикальних сходів і перехідних майданчиків; збільшення довжини скребкового транспортера автоматично збільшує кількість опорних лап залежно від довжини. Таким чином з окремих частин майбутнього елеватора формується комплекс у цілому. Одна з важливих опцій застосування 3D-технології – створення проєкту елеватора. Завдяки 3D-моделюванню робота над різними розділами проєкту буде виконана швидше та якісніше. Маючи модель елеватора з достатньою деталізацією всіх його об'єктів, можна отримати чимало переваг. Наприклад, будь-які види, розрізи для створення 2D-креслень робочої документації виходять майже миттєво [16].

Ще один плюс – створення різних специфікацій і відомостей: зміна у процесі проєктування якогось вузла чи обладнання буде миттєво відображатися завдяки наскрізному зв'язку між моделлю і створюваним документом.

Також для деяких складних вузлів ізометричне 3D-креслення є набагато більш наочним варіантом подачі інформації – наприклад, для норійного приямка, в якому сходяться кілька одиниць транспортного обладнання, що потрібно правильно пов'язати між собою. 3D-модель дає можливість детальніше опрацювати з'єднання різного обладнання. Виконати різні розрахунки – наприклад, фундаментів або розрахунок на міцність металоконструкцій, можна за допомогою спеціальних модулів або окремих програмних комплексів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У нинішній час на ринку комп'ютерних технологій представлені різні 3D-програми для розробки тривимірних моделей. Кожен продукт має своїми особливостями. Розглянуто програми для 3D-моделювання, серед яких можна зустріти як спеціалізовані редактори для автоматизованого проєктування, так і професійні програми загального профілю, які використовуються для створення тривимірних моделей.

Таким чином, будь-яке підприємство, яке переходить на тривимірне проєктування стає більш конкурентоспроможним, клієнт орієнтованим.

3D-проєктування елеватора стає необхідністю, тільки так можна швидко зробити повну віртуальну модель елеватора з усіма вузлами, на якій можна побачити маршрут проходження зерна майбутнім елеватором. Це дає змогу уникнути багатьох помилок, що трапляються, коли проєктування здійснюється тільки на базі лінійної моделі.

Література

1. Зінко Р. В., Топільницький В. Г. Системи 3D моделювання: навч. посіб. Львів : Галицька Видавнича Спілка, 2017. 150 с.

2. Строкін А.В., Черкасова Е.І. Основні тенденції процесу ізомеризації // Вестник Казанського технологічного університету. 2014. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-tendentsii-protseassa-izomerizatsii> (дата звернення: 23.12.2021).
3. Холодник Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій. ТДАТУ: Мелітополь: Люкс, 2021. 140 с.
4. 4 Товстолуг З.М., Півень О.М.. Інженерне проектування технології: навч. посіб. Харків: Підручник НТУ «ХПІ», 2018. 135 с.
5. Бачинська А.В., Генсерук Г.Р. Аналіз програмного забезпечення для розробки 3D моделі архітектурних споруд // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, м. Тернопіль, 7–8 листопада, 2019 р. / ТНПУ м. Тернопіль, 2019 С. 26-27.
6. Autodesk Режим доступу: <https://www.autodesk.com/> (дата звернення: 23.12.2021).
7. Функциональность Autodesk AutoCAD Режим доступу: <https://www.pointcad.ru/product/autocad/podrobnoe-opisanie-autocad> (дата звернення: 23.12.2021).
8. Pro/Engineer - система автоматизованого проектування, інженерного аналізу і підготовки виробництва Режим доступу: <https://pro-spo.ru/information-required-to-install/757-proengineer> (дата звернення: 21.12.2021).
9. T-FLEX CAD- програма для конструкторської підготовки і 3D-моделювання. Режим доступу: <http://tflex.ru/products/konstruktor/cad3d/> (дата звернення: 20.12.2021).
10. Подробный обзор программы SolidWorks Режим доступу: <https://junior3d.ru/article/solidworks.html> (дата звернення: 20.12.2021).
11. CADWorx Plant Professional Режим доступу: <https://bricscad-ukraine.com.ua/app/architecture/cadworx-plant-pro.html> (дата звернення: 20.12.2021).
12. 12 AutoCAD Civil 3D Режим доступу: http://icad.spb.ru/software/item/civil_3d/ (дата звернення: 22.12.2021).
13. Neosoft. AutoCAD Map 3D Режим доступу: <https://www.neosoft.pro/catalog/production?vendor=autodesk&product=autocad-map-3d> (дата звернення: 22.12.2021).
14. НИП-Информатика». AutoCAD Structural Detailing Режим доступу: <http://www.nipinfor.ru/construction/10040/> (дата звернення: 22.12.2021).
15. Кращі програми для 3D-моделювання. Режим доступу: <http://hi-news.pp.ua/tehnkatehnologiyi/8831-krasch-programi-dlya-3d-modelyuvannya.html> (дата звернення: 25.12.2021).
16. Застосування 3D-моделювання в проектуванні елеваторів Режим доступу: <https://landlord.ua/news/zastosuvannya-3d-modelyuvannya-v-proektuvanni-elevatoriv/> (дата звернення: 24.12.2021).

References

1. Zinko R. V., Topilnytskyi V. H. Systemy 3D modelyuvannya: navch. posib.. Lviv : Halytska Vydavnycha Spilka, 2017. 150 s.
2. Strokın A.V., Cherkasova E.I. Osnovnye tendentsii processa izomerizatsii // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2014. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-tendentsii-protseassa-izomerizatsii> (data zvernennia: 23.12.2021).
3. Kholodniak Yu. V. Komp'iuterne proektuvannya promyslovykh vyrobiv: konspekt lektsii. TDATU: Melitopol: Liuks, 2021. 140 s.
4. Tovstoluh Z.M., Piven O.M.. Inzhenerne proektuvannya tekhnolohii: navch. posib. Kharkiv: Pidruchnyk NTU «KhPI», 2018. 135 s.
5. Bachynska A.V., Henseruk H.R. Analiz programnoho zabezpechennia dlia rozrobky 3D modeli arkhitek-turnykh sporud // Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia: dosvid, tendentsii, per-spektyvy. Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii, m. Ternopil, 7–8 lystopa-da, 2019 r. / TNPU m. Ternopil, 2019 S. 26-27.
6. Autodesk Rezhym dostupu: <https://www.autodesk.com/> (data zvernennia: 23.12.2021).
7. Funktsionalnost Autodesk AutoCAD Rezhym dostupu: <https://www.pointcad.ru/product/autocad/podrobnoe-opisanie-autocad> (data zvernennia: 23.12.2021).
8. Pro/Engineer - sistema avtomatyzyrovannoho proektyrovannia, ynzhenernoho analiza y podhotovky proyzvodstva Rezhym dostupu: <https://pro-spo.ru/information-required-to-install/757-proengineer> (data zvernennia: 21.12.2021).
9. T-FLEX CAD- prohramma dlia konstruktorskoï podhotovky y 3D-modelyrovannia. Rezhym dostupu: <http://tflex.ru/products/konstruktor/cad3d/> (data zvernennia: 20.12.2021).
10. Podrobnyi obzor prohrammy SolidWorks Rezhym dostupu: <https://junior3d.ru/article/solidworks.html> (data zvernennia: 20.12.2021).
11. CADWorx Plant Professional Rezhym dostupu: <https://bricscad-ukraine.com.ua/app/architecture/cadworx-plant-pro.html> (data zvernennia: 20.12.2021).
12. 12 AutoCAD Civil 3D Rezhym dostupu: http://icad.spb.ru/software/item/civil_3d/ (data zvernennia: 22.12.2021).
13. Neosoft. AutoCAD Map 3D Rezhym dostupu: <https://www.neosoft.pro/catalog/production?vendor=autodesk&product=autocad-map-3d> (data zvernennia: 22.12.2021).
14. NYP-Ynformatyka». AutoCAD Structural Detailing Rezhym dostupu: <http://www.nipinfor.ru/construction/10040/> (data zvernennia: 22.12.2021).
15. Krashchi prohramy dlia 3D-modelyuvannya. Rezhym dostupu: <http://hi-news.pp.ua/tehnkatehnologiyi/8831-krasch-programi-dlya-3d-modelyuvannya.html> (data zvernennia: 25.12.2021).
16. Zastosuvannia 3D-modelyuvannia v proektuvanni elevatoriv Rezhym dostupu: <https://landlord.ua/news/zastosuvannya-3d-modelyuvannya-v-proektuvanni-elevatoriv/> (data zvernennia: 24.12.2021).

Рецензія/Peer review : 15.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

YAKIV YUSYN

ORCID ID: 0000-0001-6971-3808

e-mail: yusin.yakiv@gmail.com

TETIANA ZABOLOTNIA

ORCID ID: 0000-0001-8570-7571

e-mail: tetiana.zabolotnia@gmail.com

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

METAMORPHIC TESTING-AS-A-SERVICE: A NEW DESIGN PATTERN OF CLOUD SERVERLESS SYSTEMS FOR METAMORPHIC TESTING

The task of quality assurance of software systems in IT is still an urgent problem, and due to the growing complexity of these systems is becoming increasingly difficult to use old methods of automated testing. One of the new methods of automated testing is metamorphic testing, which can be applied to systems of any complexity and which can be performed efficiently in the cloud. However, software for performing metamorphic tests in the cloud is still in the early stages of its development, due to the still low popularity of the method in the industry. So, the purpose of this work is to improve the software to perform metamorphic tests in the cloud by developing the corresponding design pattern to improve the expected results against the software code quality metrics. To achieve this objective, the new MTaaS design pattern has been developed that is based on the idea of metamorphic relation decomposition into individual parts together with automatic code generation of the relations' and functions' bodies. The combination of these two ideas allows the developer to concentrate only on the implementation of the logic of metamorphic relations, hiding from him all other details (such as creating serverless functions). To evaluate the developed design pattern, two software systems for metamorphic testing of the same software artifact were developed: one software system was implemented without the use of the MTaaS pattern, the other with its use. The following four code quality metrics were used in this evaluation: maintainability index, cyclomatic complexity, class coupling, lines of code. The analysis of evaluation results has demonstrated improvement of the class coupling and maintainability index metrics without worsening other metrics. Thus, the evaluation showed the effectiveness of using the developed design pattern during developing software systems for metamorphic testing based on serverless computing.

Keywords: metamorphic testing; cloud computing; serverless computing; design pattern.

ЮСИН Я. О., ЗАБОЛОТНЯ Т. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

METAMORPHIC TESTING-AS-A-SERVICE: НОВИЙ ШАБЛОН ПРОЄКТУВАННЯ ХМАРНИХ БЕЗСЕРВЕРНИХ СИСТЕМ МЕТАМОРФІЧНОГО ТЕСТУВАННЯ

Задача забезпечення якості програмних систем в ІТ досі залишається актуальною, при чому через зростаючу складність цих систем все складніше стає застосування старих методів автоматизованого тестування. Одним із нових методів автоматизованого тестування є метаморфічне тестування, яке може бути застосованим до систем будь-якої складності та яке може ефективно виконуватись у хмарі. Проте, програмне забезпечення для виконання метаморфічних тестів у хмарі досі знаходиться у початковій фазі свого розвитку, що викликано поки що невеликою популярністю методу в індустрії. Відповідно, метою даної роботи є удосконалення програмного забезпечення для виконання метаморфічних тестів у хмарі шляхом розроблення відповідного шаблону проєктування, що покращить отримувані результати за метриками якості програмного коду. Для досягнення поставленої мети розроблено новий шаблон проєктування MTaaS, в основу якого покладено ідеї декомпозиції метаморфічного зв'язку на окремі складові разом з автоматичною кодогенерацією тіл зв'язків та функцій. Поєднання цих двох ідей дозволяє розробнику зосередитись тільки на написанні логіки метаморфічних зв'язків, приховуючи від нього всі інші деталі (такі як створення безсерверних функцій). Для оцінювання розробленого шаблону проєктування розроблено дві програмні системи метаморфічного тестування одного і того самого програмного артефакту: одна програмна система реалізована без використання шаблону MTaaS, інша з його використанням. При оцінюванні використано наступні чотири метрики якості програмного коду: індекс підтримованості, цикломатична складність, зв'язність класів, кількість рядків коду. Аналіз отриманих результатів показав покращення метрик індекса підтримованості та зв'язності класів, при відсутності погіршення інших двох. Таким чином, проведене оцінювання показало ефективність використання розробленого шаблону проєктування при розробленні програмних систем метаморфічного тестування на основі безсерверних обчислень.

Ключові слова: метаморфічне тестування; хмарні обчислення; безсерверні обчислення; шаблон проєктування.

Introduction

Quality assurance of software systems is still an urgent problem in the IT area because software errors may lead to financial and/or reputational losses, create security problems, and in the worst case – lead to human fatality.

According to the World Quality Report 2021 [1], the software quality assurance expenditures amount at 18 through 35 percent of the total IT budget of an average company, and 36% of that share (i.e. 6-12% of the total budget) is spent on development and/or purchase of the testing software tools. At the same time the share of automated software methods use instead of manual human testing increases every year, and, correspondingly, in the category of software tools the emphasis shifts to development of automated tests.

A huge number of automated testing methods have been developed as of today, but simple oracle-based tests remain the most popular ones [2]. Although this method is based on the obvious idea of comparing obtained

output data against the expected values for the defined input data, in practice determination of this pair "expected input data – expected output data" can be complicated. First of all, complexity of the oracle determination depends on complexity of the software artifact to be tested – the come complex software artifact, the more complex determination of the expected output data. Apparently, that for the multiplication function it is much simpler than for the text clustering software.

Accordingly, a part of newer automated testing methods is called to solve the problem of determining expected output data (so called "oracle problem" [3]) in the most obvious way – through complete avoidance of specific input and output data operation. Metamorphic testing is one of such methods based on the idea of *metamorphic relations* – relevant relations between inputs and outputs specific for the given domain area [4]. Metamorphic relation is the relationship describing how the output data should change when certain input data have been changed. For instance, the following relation can serve as metamorphic relation for the multiplication function: if one multiplicand is increased 2 times (change of input data), the result would also increase 2 times (change of output data). Accordingly, metamorphic relations make the basis of metamorphic testing that checks whether the specified relations are fulfilled for the given software artifact or not.

Today the cases of successful application of the metamorphic testing method for validation of web applications [5,6,7], compilers [8,9], computer graphics [10,11] and bioinformatics [12,13] software tools are described in the literature, but this method remains not widespread in the industry. It means that development of the public software tools for development of metamorphic tests, architecture of such software tools, and relevant design patterns is still an urgent problem. One of the advanced areas of activities in this field is the use of cloud technologies for running metamorphic tests as the last ones may run efficiently in parallel owing to their independent nature. Sharing a set of metamorphic tests for parallel execution in the cloud in practice results in significant reduction of the total execution time because in a majority of cases the tests are complex and such that are performed at the level of end-to-end testing.

Thus, **the purpose** of this work is to improve the software to perform metamorphic tests in the cloud by developing the corresponding design pattern to improve the expected results against the software code quality metrics.

Related Works

The idea of metamorphic testing was proposed for the first time in [4], and since that time it was successfully applied in various areas.

The first meta-analysis of the studies on metamorphic testing was provided in [14] and extended in [15]. The second meta-analysis besides the description of the current state of the metamorphic testing area also describes the challenges and pending issues, with the execution of metamorphic tests using cloud calculations among them.

Execution of metamorphic testing using cloud calculations was described for the first time in [16]. In this study the developed software was oriented at the use of virtual machines EC2 from the cloud provider AWS with their manual creation, control, and deletion.

The study [17] proposed to apply the serverless computing technology (Function-as-a-Service pattern) for designing, implementing, and executing of metamorphic testing. The study demonstrated the expediency of using serverless computing and proposed generic architecture for implementing of metamorphic testing with their use.

Overview of Metamorphic Testing Serverless Architecture

The study [17] describes the generic serverless software architecture for running metamorphic testing as component, deployment, and sequence diagrams.

In general, such architecture envisages identification of four individual components:

- Software artifact being tested.
- Input data generator.
- Models of input data, output data, and data to be generated.
- Metamorphic relations.

When transferred to serverless deployment, the fifth component appears – serverless functions (hereafter – metamorphic functions).

However, besides the description of the interaction process between the dedicated components (using the model component) the generic architecture does not provide any recommendations regarding the implementation of components at the class level. Especially it is true for the metamorphic relations component that contains all metamorphic testing logic (that is actually the logic of the serverless application functioning because besides testing logic it contains only metamorphic functions and data generators). Thus, implementation of this component at the class level can be done in various ways and all of them would comply with the generic serverless architecture. Apparently, some of them will be better than others from the standpoint of quality, simplicity and software code maintainability.

Also, in the case of a large number of metamorphic tests another problem occurs with serverless architecture: every metamorphic relation requires existence of a metamorphic function, and these functions are similar to each other. In fact, with such approach metamorphic functions differ only in their names, callable metamorphic relation, and, possibly, data generator. All the other items – function registering as serverless (using the cloud provider library), request parsing, and results return – do not change between functions. That results in duplication of the metamorphic function code as well as possible copy&paste errors. During development of serverless metamorphic tests, it would be desirable to have an opportunity to concentrate on development of the

metamorphic relations' logic only, leaving alone the metamorphic functions similarly to how the architecture pattern Function-as-a-Service allows concentrating on business logic only, leaving alone the whole code for its launch and deployment.

So, the following problems of serverless metamorphic testing can be identified:

- Necessity of decomposing the metamorphic relation so that to avoid extremely coupled or duplicated code.

- Duplication of the metamorphic function code with insignificant differences.

To solve the above problems the new architecture pattern is proposed in the study that would allow concentrating exceptionally on development of the main components of metamorphic tests.

Metamorphic Testing-as-a-Service

For the summary description of the architecture pattern MTaaS developed within these studies let us use the generally accepted pattern description (used for the first time in [18]): “intent” – “motivation” – “applicability” – “structure” – “participants” – “collaborations” – “consequences” – “implementation”.

Intent. Implement metamorphic testing based on serverless computing architecture in the most efficient way according to the code quality metrics by focusing exceptionally on the implementation of metamorphic relations only.

Motivation. Let us consider the ways of solving problems that occur during the implementation of metamorphic testing (including based on serverless architecture) first separately, and then we will demonstrate how their resolution can be combined.

During the metamorphic relation implementation in the software code it is possible to identify the following main components:

- Input data change component that receives a certain type TInput at the input and returns it in a modified form. Hereafter we will call such component an input metamorphosis or input data metamorphosis.

- Corresponding output data change component that in its signature is similar to the input metamorphosis but differs in the TOutput type. We will call such component an output metamorphosis or output data metamorphosis.

- Launch code of the software artifact being tested and being responsible for TInput transformation into TOutput.

- Code for comparison of two TOutput copies.

Actually, the software artifact launch code is permanent for different metamorphic relations. If the software artifact requires different settings for its launch (e.g., configuration file or configuration object providing), such settings must be considered as a part of input data. This approach also allows the creation of metamorphic relations with the involvement of the settings metamorphosis (e.g., during testing of data serializer in text formats it is possible to create a relation that checks that the result did not change during adjustment of an output with indentation).

During implementation of a large quantity of metamorphic relations for one artifact a similar code duplication problem may occur for the input and/or output metamorphoses. For instance, one output metamorphosis may be used in several relations, thus describing that output data may change in a certain way responding to several different changes of input data. The multiplication function of two numbers may be used as an example: the result may change twice (common output metamorphosis) both in case if the first multiplicand doubles (one input metamorphosis) and in case if the second multiplicand doubles (another input metamorphosis).

If a resolution of this problem is considered separately, the most efficient resolution method would consist in the use of the basic design pattern "Strategy". In such a way it would be possible to create one basic class of metamorphic relation that would: receive objects implementing metamorphosis interfaces; contain implementation of launch of the software artifact being tested; contain implementation of calls of metamorphoses, software artifact launch, and comparison. But, as it would be further demonstrated, in combination with resolution of the metamorphic functions duplication problem the metamorphic relation code duplication problem may be resolved in a different way.

As was already mentioned, the main problem during implementation of metamorphic functions is code duplication because inherently the functions are similar to each other. In fact, every metamorphic function always corresponds to one metamorphic relation and serves only as a method of its connection to the external world: receiving input data for generation, call of metamorphic relation, and return of results. According to the authors, the most efficient way to solve this problem is automatic code generation of metamorphic functions based on the identified metamorphic relations. It is proposed to automatically generate for each metamorphic relation implementation of the corresponding metamorphic function inheriting, for instance, its name. In such a way the developer may concentrate on implementation of the main logic – the logic of metamorphic relations – not considering the specific implementation of the corresponding metamorphic functions.

But if we have already decided to use code generation, then having a set of input and output metamorphoses and the software artifact launch code it is, actually, possible to generate metamorphic relations. Thus, every generated metamorphic relation will contain a code similar to the one that would be contained in the above described basic class of relations, but instead of receiving objects implementing metamorphosis interfaces, instances of specific classes corresponding to this relation will be used. In such a case the developer does not need even manual creation of instances of metamorphic relations with required dependencies – during the generation of

the metamorphic function code there is a possibility to generate also the creation and call code for the corresponding metamorphic relation.

Applicability. MTaaS pattern may be used in situations when:

- There is a large number of metamorphic relations to be run in the cloud using serverless architecture;
- It is necessary to avoid duplication of the code for some metamorphic relations and/or functions.

Structure. The structural UML diagram of the proposed architecture pattern is shown in Figure 1.

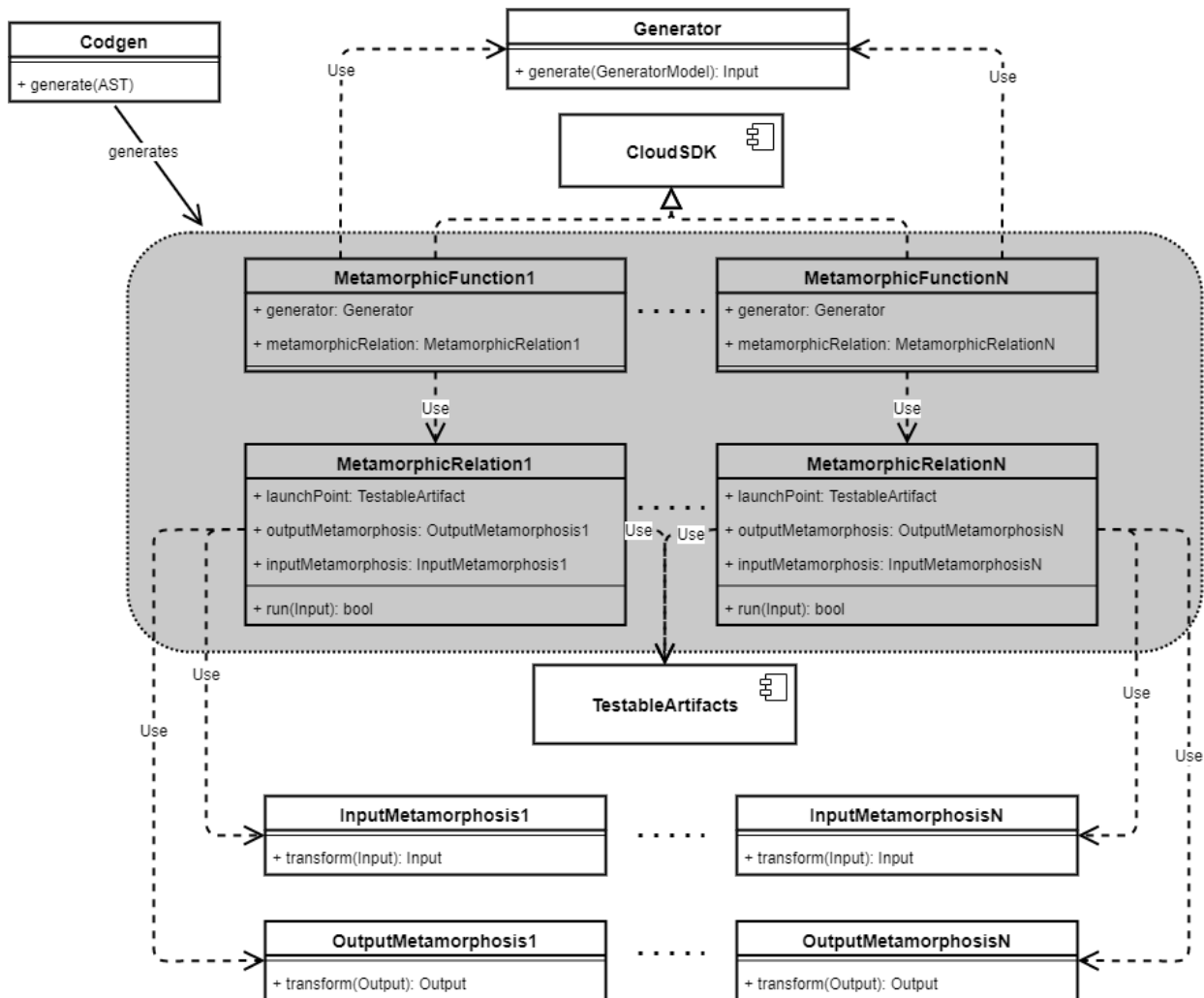


Figure 1. Structural diagram of the proposed MTaaS pattern

Participants.

- InputMetamorphosis1, InputMetamorphosis2, ..., InputMetamorphosisN – input metamorphoses provided by the developer;
- OutputMetamorphosis1, OutputMetamorphosis2, ..., OutputMetamorphosisN – output metamorphoses provided by the developer;
- TestableArtifact – software artifact being tested and its launch code;
- Generator – input data generator;
- Codgen – code generator;
- CloudSDK – SDK, made available by the cloud provider for implementation of the FaaS pattern;
- MetamorphicRelation1, MetamorphicRelation2, ..., MetamorphicRelationN – generated metamorphic relations;
- MetamorphicFunction1, MetamorphicFunction2, ..., MetamorphicFunctionN – generated metamorphic functions.

Collaborations.

- The code generator tracks all available input and output metamorphoses – for that purpose various techniques can be used such as annotations, attributes, special contracts, etc.;
- In the same way the code generator finds implementation of the launch of the software artifact being tested;
- The code generator generates metamorphic relations each one containing corresponding input and output metamorphoses and the software artifact being tested;
- The code generator also generates metamorphic functions each one referencing the corresponding

metamorphic relation and input data generator;

- Besides, the generated metamorphic functions are also referencing the SDK of the cloud provider thus implementing corresponding contracts provided by this SDK.

Consequences. Application of the MTaaS pattern has the following consequences:

- Hiding details of metamorphic functions from the developer – thus, the developer concentrates only on implementation of metamorphic relations. This idea is similar to how the architecture pattern FaaS (Function-as-a-Service) hides from the developer details of its code deployment and launching, for that the proposed MTaaS pattern received its name.

- Generated metamorphic relations and metamorphic functions use specific instances of their dependences (metamorphoses for relations, and relations for functions) instead of abstract interfaces thus facilitating the code reading and understanding.

- The code generator may be implemented only once and then used in an unlimited number of projects by connecting as an external library.

- Settings of the software artifact required for its launch are considered as a part of input data that could also participate in input metamorphoses.

The code generator may be extended with various settings, when necessary, or vice versa, simplified. For instance, if it is necessary that a part of metamorphic functions use one type of the Cloud SDK trigger and another part use another trigger, the code generator may be complicated by the corresponding configuration.

Implementation. Specificities of this architecture pattern implementation mainly depend on features of the specific programming language (namely – on specific possibilities of code generation provided by the language: macros, compiler extensions, etc.) and specific cloud provider (what signatures of metamorphic functions must be exported for compliance with FaaS implementation). The next Section discusses reference implementation on the .NET/Azure platform.

Reference Implementation

The reference implementation of the proposed architecture pattern MTaaS was done for the .NET platform and Azure Functions cloud service. The source code of the developed solution is available at <https://github.com/yakivyusin/MTaaS>.

For the implementation of code generation at the .NET platform starting with release 5.0, the mechanism called source generators is available. The idea of such a mechanism consists in the compiler calling the user code marked with a special attribute. The user code receives at the input the complete project AST and can supplement it with own generated code [19].

In C# language it is possible to identify two idiomatic ways of the proposed architecture pattern implementation – attributive and contract.

In the case of the attributive way, all components of the MTaaS pattern at the user level are marked with attributes provided by MTaaS implementation. Then these attributes are used for the search of all components and their use in generated metamorphic functions and relations.

In the case of the contract way, the MTaaS implementation besides generation of metamorphic relations and functions also generates contracts of components at the user level based on the specified configuration file. Then the developer will need to provide implementation of these contracts. In the C# language the examples of such contracts may include partial classes and methods.

The main advantages of the attributive approach are larger idiomatycity compared to the contract approach (that refers both to compliance with the programming language and the nature of the pattern itself), no need for additional user's configuration files, one component may be marked with several attributes for different metamorphic relations reducing the code duplication. The disadvantage of this approach is a more complicated implementation of the corresponding code generation because it is necessary: to perform the AST analysis for the search of all components marked with attributes; to analyze for every metamorphic relation whether all mandatory components have been marked, and if not – send an error message to the compiler.

Accordingly, the main advantage of the contract approach is simplicity of its implementation: the source generator only generates contracts using the configuration file data, and verification of all implementations may be assigned to a standard compiler (e.g., absence of implementation in a partial method, no value of the type parameter in a generic class, etc.).

The developed reference implementation applies the contract approach but, in the future, it can be extended with the attributive approach providing the user with a choice.

YAML format was used for the configuration file that has the following advantages compared to the JSON format mainly used on the .NET platform: simplified syntax, availability of comments in the format standard. It should be mentioned that whatever JSON document is also a valid YAML document, therefore JSON syntax may be used if desired [20].

An example of the configuration file with comments:

```
# MR and MF name
- name: MR1
  models:
    # input model according to generic architecture
    input: object[]
    # output model according to generic architecture
```

```

output: System.IO.StringWriter
# optional - IEqualityComparer for output model
output_equality_comparer: Custom.StringWriterComparer
# generator model according to generic architecture
generator: MTaaS.Sample.Models.GeneratorModel
# next MR...
- name: MR2

```

In general, reference implementation consists of five source generators:

- InputMetamorphosis – generates the contract of input metamorphosis for each metamorphic function as partial classes with one partial method (using \$.name and \$.models.input from the configuration file).
- OutputMetamorphosis – generates the contract of output metamorphosis (\$.name and \$.models.output).
- InputGeneration – generates the contract for input data generator (also as partial class with partial method) using \$.name, \$.models.generator and \$.models.input.
- MetamorphicRelation – generates the metamorphic relation class; the user needs to provide an implementation of only one partial method – actually, the launch of the artifact being tested.
- MetamorphicFunction – generates an implementation of the metamorphic function.

So far, metamorphic functions are always generated using HttpTrigger (POST method), and it is expected that the input data generator model will be transmitted in the request body in JSON format. It can be extended with further project extension (see Conclusions).

Experiment

To verify the hypothesis that the proposed architecture pattern significantly simplifies implementation of serverless metamorphic testing the same relations as in the study [17] were used in this work.

In the study [17] five metamorphic relations for the program library of tabular collection output were used as an example of implementation of metamorphic testing serverless architecture: increasing and decreasing the collection, field adding and deletion, change of the object order in the collection.

The graphic explanation of the implemented metamorphic relations is provided in Figure 2.

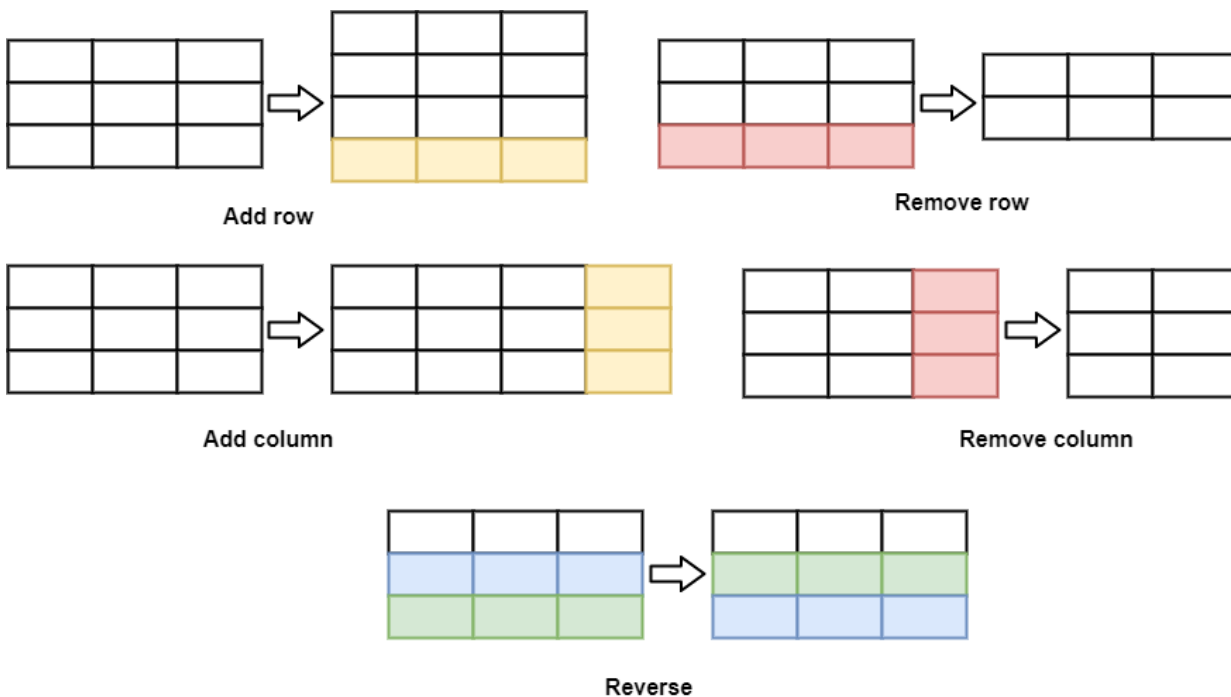


Figure 2. Output metamorphosis for five implemented metamorphic relations

Unlike the software developed in [17], within this experiment rigorous comparison of the objects containing the tabulated output (StringWriter) was implemented according to their content instead of a comparison of individual properties (width, height, individual lines). For this purpose the IEqualityComparer interface was implemented for StringWriter and this implementation was used in the configuration file for every metamorphic relation as \$.models.output_equality_comparer.

For comparison of the quality and complexity indicators of the software developed using the MTaaS pattern and software that was implemented just in line with the generic serverless architecture, the following metrics have been used: maintainability index [21], cyclomatic complexity [22], class coupling [23], lines of code.

Results for the specified metrics are provided in Table 1.

Table 1

Code quality metrics of the two developed software

Lines of Code (LoC)							
MR	Type	Generator	Input metamorphosis	Output metamorphosis	Relation	Function	Total
Add row	generic	12/5*	15			8 + 4/5	26,2
	MTaaS	4 + 8/5	4	9	7	-	25,6 (-2%)
Remove row	generic	12/5	14			8 + 4/5	25,2
	MTaaS	4 + 8/5	4	10	7	-	26,2 (+4%)
Add column	generic	12/5	14			8 + 4/5	25,2
	MTaaS	4 + 8/5	4	11	7	-	27,6 (+9%)
Remove column	generic	12/5	13			8 + 4/5	24,2
	MTaaS	4 + 8/5	4	10	7	-	26,6 (+10%)
Reverse	generic	12/5	18			8 + 4/5	29,2
	MTaaS	4 + 8/5	4	11	7	-	27,6 (-5%)
Cyclomatic Complexity							
MR	Type	Generator	Input metamorphosis	Output metamorphosis	Relation	Function	Total
Add row	generic	3	2			1 + 1	7
	MTaaS	1 + 2	1	1	2	-	7
Remove row	generic	3	2			1 + 1	7
	MTaaS	1 + 2	1	1	2	-	7
Add column	generic	3	2			1 + 1	7
	MTaaS	1 + 2	1	1	2	-	7
Remove column	generic	3	2			1 + 1	7
	MTaaS	1 + 2	1	1	2	-	7
Reverse	generic	3	3			1 + 1	8
	MTaaS	1 + 2	1	1	2	-	7 (-12,5%)
Class Coupling							
MR	Type	Generator	Input metamorphosis	Output metamorphosis	Relation	Function	Total
Add row	generic	4	8			9	21
	MTaaS	3	2	2	3	-	10 (-52%)
Remove row	generic	4	8			9	21
	MTaaS	3	2	2	3	-	10 (-52%)
Add column	generic	4	10			9	23
	MTaaS	2	1	2	2	-	7 (-69%)
Remove column	generic	4	10			9	23
	MTaaS	2	1	2	2	-	7 (-69%)
Reverse	generic	4	8			9	21
	MTaaS	3	2	2	3	-	10 (-52%)
Maintainability Index							
MR	Type	Generator	Input metamorphosis	Output metamorphosis	Relation	Function	Min
Add row	generic	75	69			71	69
	MTaaS	min(100, 68)	100	100	77	-	68 (-1%)
Remove row	generic	75	69			71	69
	MTaaS	min(100, 68)	100	100	77	-	68 (-1%)
Add column	generic	75	72			71	71
	MTaaS	min(100, 68)	100	100	77	-	68 (-4%)
Remove column	generic	75	69			71	69
	MTaaS	min(100, 68)	100	100	77	-	68 (-1%)
Reverse	generic	75	65			71	65
	MTaaS	min(100, 68)	100	100	77	-	68 (+5%)

The following relationships can be noted based on the data provided:

1) *Lines of code* – depending on metamorphic relation the total number of lines of code may both increase or decrease if the MTaaS pattern is applied. Such a result can be judged as expected because when the MTaaS pattern is used the number of classes the logic is subdivided into increases and each class adds minimum 3 additional lines (namespace declaration, class declaration, and signature of the highlighted method). It should be noted that software developed within the study implements the more complex comparison of output data that impacts the number of lines of code too. Also, during the framework implementation of the attributive approach, this indicator may be improved because this approach is better oriented at reduction of code duplication.

2) *Cyclomatic complexity* – this indicator, actually, is independent of the MTaaS pattern use that is also expected because decomposition improvement of the metamorphic relation code and automatic generation of metamorphic functions do not much influence the program control dataflow graph.

3) *Class coupling* – this metric improves when the proposed pattern is applied, mainly owing to the automatic generation of a part of the code. Besides automatic generation, the subdivision of one class of metamorphic relation into three classes (metamorphoses and the relation itself) also positively influences this metric because in practice it is easier to operate three classes with $CC=3$ than one class with $CC = 6$ (despite the fact that the total CC indicator of the subdivided classes may be larger).

4) *Maintainability index* – despite the fact that formally for four relations out of five the minimum value of this indicator has worsened, it is necessary to pay attention to the distribution of values between classes. When simply generic architecture was used, all three components have quite coinciding MI values; and when the MTaaS pattern was used large dispersion of values was observed from the best value equal to 100 to the minimum obtained value. So, each metamorphosis class received the best possible value for the MI metric (100); metamorphic relation classes improved their values compared to the generic architecture; the minimum value was determined by the input data generator. Thus, it can be concluded that application of the MTaaS pattern improves the MI metric.

So, application of the proposed architecture pattern MTaaS improves the key metrics of the code quality and, accordingly, the hypothesis that this pattern simplifies the implementation of the serverless metamorphic testing can be considered as confirmed.

Conclusions

Conducted analysis of the problems occurring during implementation of metamorphic testing using serverless computing (following the generic architecture) demonstrated expediency of developing additional architecture patterns application of those promotes efficient resolution of the identified problems. In the study the MTaaS (Metamorphic Testing-as-a-Service) architecture pattern was proposed that is based on the idea of metamorphic relation decomposition into individual parts together with automatic code generation of the relations' and functions' bodies.

The proposed architecture pattern envisages:

- Subdivision of the metamorphic relation code into separate input and output metamorphoses (done by the user); launch component if the software artifact being tested (done by the user); and the body of metamorphic relation using them (code generation).
- Code generation for metamorphic function.

So, application of the MTaaS pattern simplifies the implementation of serverless metamorphic testing (owing to code generation and ready-to-use decomposition scheme) and improves the metrics of the software code quality.

The reference implementation of the proposed architecture pattern together with the code generation was developed on the .NET platform for the Azure cloud provider. Using such implementation, comparison of the key quality metrics of the software code with the MTaaS pattern application and without was performed. The conducted experiment has demonstrated improvement of the class coupling and maintainability index metrics without worsening other metrics that confirmed the effectiveness of the proposed pattern.

Further development of this study is primarily in the technical field: implementation of an alternative, attributive approach; application of the reference implementation of the proposed pattern for other programming languages and cloud provides, etc.

References

1. Capgemini, Sogeti, Microfocus, "World Quality Report 2021," [Online]. Available: <https://www.capgemini.com/research/world-quality-report-wqr-2021-22/>.
2. Weyuker E., "The oracle assumption of program testing," in Proc. of 13th International Conference on System Sciences, pp. 44-49 (1980).
3. Barr T., Harman M., McMinn P., Shahbaz M., Yoo S., "The oracle problem in software testing: a survey," IEEE Transactions on Software Engineering Vol. 41 (5), pp. 507–525 (2015). <https://doi.org/10.1109/TSE.2014.2372785>.
4. Chen T.Y., Cheung S.C., Yiu S.M., "Metamorphic testing: a new approach for generating next test cases," Technical Report HKUST-CS98-01, Department of Computer Science, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong (1998).
5. Zhou Z.Q., Zhang S., Hagenbuchner M., Tse T.H., Kuo F.-C., Chen T.Y., "Automated functional testing of online search services," Software Testing, Verification and Reliability Journal Vol. 22 (4), pp. 221–243 (2012). <https://doi.org/10.1002/stvr.437>.
6. Zhou Z.G., Tse T.H., Kuo F.-C., Chen T.Y., "Automated functional testing of web search engines in the absence of an oracle," Technical Report TR-2007-06, Department of Computer Science, The University of Hong Kong, Hong Kong (2007).
7. Zhou Z.Q., Xiang S., Chen T.Y., "Metamorphic testing for software quality assessment: A study of search engines," IEEE Transactions on Software Engineering Vol. 42 (3), pp. 264–284 (2016). <https://doi.org/10.1109/TSE.2015.2478001>.
8. Tao Q., Wu W., Zhao C., Shen W., "An automatic testing approach for compiler based on metamorphic testing technique," in Proc. of 17th Asia Pacific Software Engineering Conference (APSEC), pp. 270–279 (2010). <https://doi.org/10.1109/APSEC.2010.39>.

9. Le V., Afshari M., Su Z., “Compiler validation via equivalence modulo inputs,” in Proc. of the 35th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation, pp. 216–226 (2014). <https://doi.org/10.1145/2666356.2594334>.
10. Kuo F.-C., Liu S., Chen T.Y., “Testing a binary space partitioning algorithm with metamorphic testing,” in Proc. of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing, pp. 1482–1489 (2011). <http://dx.doi.org/10.1145/1982185.1982502>.
11. Jameel T., Mengxiang L., Liu C., “Test oracles based on metamorphic relations for image processing applications,” in Proc. of 16th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), pp. 1–6 (2015). <https://doi.org/10.1109/SNPD.2015.7176238>.
12. Pullum L.L., Ozmen O., “Early results from metamorphic testing of epidemiological models,” in Proc. of ASE/IEEE International Conference on BioMedical Computing (BioMedCom), pp. 62–67 (2012). <https://doi.org/10.1109/BioMedCom.2012.17>.
13. Ramanathan A., Steed C.A., Pullum L.L., “Verification of compartmental epidemiological models using metamorphic testing, model checking and visual analytics,” in Proc. of ASE/IEEE International Conference on BioMedical Computing (BioMedCom), pp. 68–73 (2012). <https://doi.org/10.1109/BioMedCom.2012.18>.
14. Segura S., Fraser G., Sanchez A.B., Ruiz-Cortes A., “A survey on metamorphic testing,” IEEE Transactions on Software Engineering Vol. 42 (9), pp. 805-824 (2016). <https://doi.org/10.1109/TSE.2016.2532875>.
15. Chen T.Y., Kuo F.-C., Liu H., Poon P.-L., Towey D., Tse T.H., Zhou Z.Q., “Metamorphic testing: A review of challenges and opportunities,” ACM Computing Surveys Vol. 51 (1), pp. 4:1-4:27 (2018). <https://doi.org/10.1145/3143561>.
16. Troup M., Yang A., Kamali A.H., Giannoulou E., Chen T.Y., Joshua W. K., “A cloud-based framework for applying metamorphic testing to a bioinformatics pipeline,” In Proc. of the 1st International Workshop on Metamorphic Testing, pp. 33–36 (2016). <https://doi.org/10.1109/MET.2016.014>.
17. Yusyn Y., Zabolotnia T., “Metamorphic Testing and Serverless Computing: A Basic Architecture,” preprint, [Online]. Available: <https://yakivyusin.github.io/preprints/Serverless.pdf>.
18. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J., “Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software,” Addison-Wesley (1994).
19. Microsoft, “Source Generators,” [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/roslyn-sdk/source-generators-overview>.
20. YAML Language Development Team, “YAML Ain’t Markup Language (YAML™) version 1.2,” [Online]. Available: <https://yaml.org/spec/1.2.2/>.
21. Microsoft, “Code metrics – Maintainability index range and meaning,” [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/code-quality/code-metrics-maintainability-index-range-and-meaning>.
22. Microsoft, “Code metrics – Cyclomatic complexity,” [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/code-quality/code-metrics-cyclomatic-complexity>.
23. Microsoft, “Code metrics – Class coupling,” [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/code-quality/code-metrics-class-coupling>.

Рецензія/Peer review : 28.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

МЕТОД ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДІЛЯНОК ОБЛИЧЧЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗМІН ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ

Станом на тепер актуальними залишаються інформаційні системи візуального спостереження для забезпечення безпеки, що ґрунтуються на розпізнаванні змін емоційного стану людини. Для покращення роботи подібних систем у даній роботі запропоновано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя, що призначений для автоматизованого відображення мімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. Вихідними даними методу є кількісні вираження семи фігур у вигляді кількісних ознак, що застосовуються надалі для класифікації емоційних виразів обличчя. Проведено валідування запропонованого методу за допомогою гіперплощинної класифікації. Результати обчислювальних експериментів підтвердили ефективність запропонованого методу для задачі класифікації змін емоційного стану. Крім того, використання простих математичних обрахунків у нашому методі дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

Ключові слова: розпізнавання емоцій, виявлення обличчя, мімічні прояви, кількісна інтерпретація обличчя, інформаційна безпека, гіперплощинна класифікація

OLEG KALYTA
Khmelnyskyi National University

METHOD OF GEOMETRIC INTERPRETATION OF FACIAL EXPRESSIONS FOR EMOTIONS RECOGNITION

Emotional expressions serve a crucial role in interpersonal communication between people while improving social life. In particular, information security systems for visual surveillance that aim to recognize human emotional facial states are highly relevant today. Facial expressions are among the most effective and straightforward means of nonverbal interaction in systems with a human-machine interface. Despite significant scientific and engineering advances in emotion recognition, there are still several challenges in improving the performance of real-time human-machine systems that might work more effectively. In this work, a method of facial geometric feature representation is proposed to improve the operation of security systems. The method is designed to automatically reflect the facial expressions of human emotions in the form of quantitative characteristics of geometric shapes. It uses software-generated landmarks for constructing specific geometric characteristics of the face, which serve as input for the method. Our method consists in forming seven geometric shapes based on predefined landmarks, with the subsequent quantitative expression of these shapes. It was established within the method that the movement of the landmarks when changing facial expressions directly changed the value of each geometric shape. The method outputs the quantitative features of seven shapes, later used to classify emotional facial states. Finally, our method was validated using hyperplane classification. The results of computational experiments confirmed the effectiveness of the proposed method for identifying changes in a person's emotional state by facial expressions. In addition, the use of simple mathematical calculations in our method has significantly reduced the computational complexity against analogs.

Keywords: Emotion recognition, face detection, facial extractions, geometric feature, face orientation, information security, hyperplane classification

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Емоції відіграють ключову роль як у міжособистісному спілкуванні між людьми, так і під час взаємодії людина-машина. Мімічні прояви людського обличчя є одним із найбільш ефективних та простих засобів невербальної взаємодії в системах із людино-машинним інтерфейсом (ЛМІ) [1]. Проте, попри значні наукові та інженерні здобутки в галузі розпізнавання емоцій, усе ще існує низка проблем щодо покращення продуктивності систем із ЛМІ, що ефективно працюють у режимі реального часу.

Багато досліджень проведено щодо розпізнавання емоційних виразів обличчя за відеореєстраціями. За основу в таких роботах взято систему кодування дій на обличчі (FACS), що призначена для аналізу емоційної поведінки обличчя [2]. Вона подає обличчя людини у вигляді керованих моделей одиниць дій (з англ. action units, AUs), які наразі вважаються еталонами для визначення шести різних емоційних виразів обличчя. Однак, велика кількість одиниць дій у системі FACS накладає обчислювальну складність на метод розпізнавання виразів обличчя, що може спричинити критичні вади в реальних інформаційних системах. Подана робота спрямована на розроблення методу подання емоційних виразів людського обличчя через геометричні риси обличчя.

Для досягнення поставленої мети, у роботі розв'язано такі задачі:

1. Досліджено різні типи геометричних рис обличчя для класифікації змін емоційного стану.
2. Запропоновано метод подання мімічних проявів з використанням нових геометричних ознак.
3. Проведено експерименти із запропонованим методом та аналогами для класифікації емоцій.
4. Доведено, що геометричне подання емоційних виразів людського обличчя перевершує традиційне розпізнавання виразів обличчя з меншою обчислювальною складністю.

Аналіз досліджень та публікацій

Було проаналізовано АУ в різних формах, таких як трикутник, мережа, прямокутник, карта уваги тощо. Наприклад, у роботі [3] подано систему розпізнавання виразів обличчя на основі нейромережевого моделювання, що показує порівняно хорошу середню похибку (14,7-21,7%). Дослідження [4] пропонує нові трикутні ознаки, такі як площа та периметр, вилучені з ділянок очей, рота та носа за допомогою 12 АУ; за таких ознак максимальна швидкість розпізнавання обличчя 94 % була досягнута в базі даних старіння FG-NET. У дослідженні [5] автори розробили систему розпізнавання емоцій на основі трикутного підходу на основі нечітких правил. Загалом у цьому дослідженні було розглянуто шість основних емоцій (щастя, гнів, страх, здивування, смуток і огида). В іншій роботі [6] використано нову модель положення 52 АУ, як геометричних характеристик, для системи розпізнавання емоційних виразів на обличчі.

З проведеного аналізу встановлено, що в традиційних підходах до кількісної характеристики обличчя людини складність обчислень (як в обчислювальному часі, так і в пам'яті) системи розпізнавання виразу емоцій обличчя зростає пропорційно з кількістю АУ, залучених до дизайну та комбінації АУ. Отже, виникає необхідність у розробленні нового підходу до опису ознак мимічних проявів людського обличчя, які будуть обчислювальними та забезпечуватимуть високу точність розпізнавання для систем безпеки в реальному часі.

Метод геометричної інтерпретації

Запропонований метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя призначений для автоматизованого відображення мимічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. У ньому на основі програмно побудованих маркерів, що позначають специфічні точки-особливості обличчя, обраховуються значення емоційних проявів. Схему запропонованого методу подано на рис. 1.

Вхідними даними методу є цифровий відеозапис натовпу людини.

У **Блоці 1** визначаються специфічні точки-особливості людського обличчя. Для цього використано пакет інструментів із відкритим кодом MediaPipe Face Mesh [7]. Це рішення дає змогу програмно описувати геометрію обличчя через 468 3D-орієнтирів (маркерів), P_u , $u = 0,467$.

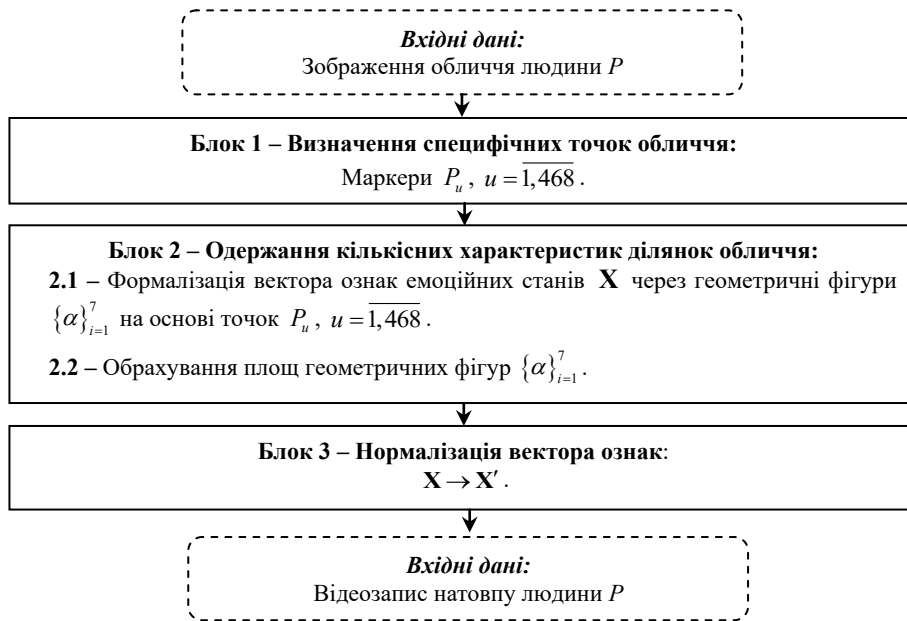


Рис. 1. Блок-схема методу геометричної інтерпретації ділянок обличчя

У **Блоці 2** обраховуються кількісні характеристики частини обличчя.

На *кроці 2.1* мимічні прояви емоцій людини формалізуються геометричними фігурами $\{\alpha\}_{i=1}^7$, кінці яких лежать у точках P_u . Відображення мимічних проявів емоцій якісними характеристиками є таким: α_1 – рот: відкритий / закритий / закритий або привідкритий; α_2 – кутики губ: опущені / підняті; α_3 – очі: широко розкриті / розкриті (норм) / примружені; α_4 – брови (перенісся): зведені до перенісся / нормальні; α_5 – брови: підняті вверх / нормальні; α_6 – кутики брів зовнішні: підняті / нормальні; α_7 – кутики брів внутрішні: підняті / нормальні.

На *кроці 2.2* відбувається обрахунок площ геометричних фігур $\{\alpha\}_{i=1}^7$. Відстань відрізків, що

формують фігури $\{\alpha\}_{i=1}^7$, обчислену за формулою відстані Евкліда. Нижче наведемо детальний опис фігур $\{\alpha\}_{i=1}^7$, для кожної ознаки обличчя:

$$\alpha_1 = \sqrt{p_{1,0} (p_{1,0} - \overline{P_{17}P_{37}})(p_{1,0} - \overline{P_{37}P_{267}})(p_{1,0} - \overline{P_{267}P_{17}})}, \quad (1)$$

де
$$p_{1,0} = \frac{\overline{P_{17}P_{37}} + \overline{P_{37}P_{267}} + \overline{P_{267}P_{17}}}{2};$$

$$\alpha_2 = \frac{\overline{3P_{145}P_{61}}}{\overline{P_{61}P_{291}}}, \quad (2)$$

$$\alpha_3 = \overline{P_{27}P_{145}} \cdot \overline{P_{33}P_{133}}, \quad (3)$$

$$\alpha_4 = \overline{P_9P_{168}} \cdot \overline{P_{107}P_{336}}, \quad (4)$$

$$\alpha_5 = \sqrt{p_{5,0} (p_{5,0} - \overline{P_1P_{105}})(p_{5,0} - \overline{P_{105}P_{334}})(p_{5,0} - \overline{P_{334}P_1})}, \quad (5)$$

де
$$p_{5,0} = \frac{\overline{P_1P_{105}} + \overline{P_{105}P_{334}} + \overline{P_{334}P_1}}{2}.$$

Кількісною характеристикою α_6 є довжина відрізка $\overline{P_{63}P_{145}}$.

Кількісною характеристикою α_7 є довжина відрізка $\overline{P_{66}P_{145}}$.

У **Блоці 3** виконується нормалізація вектора ознак \mathbf{X} за формулою:

$$x'_i = \frac{\alpha_i - \alpha_{i\min}}{\alpha_{i\max} - \alpha_{i\min}}, \quad (6)$$

де α_i – кількісна характеристика i -ої ознаки, $i = \overline{1,7}$, $\alpha_{i\min}$ – мінімальне значення i -ої характеристики, визначено емпірично, $\alpha_{i\max}$ – максимальне значення i -ої характеристики, визначено емпірично, x'_i – нормалізоване значення i -ої ознаки, $x'_i \in \mathbf{X}'$, $x'_i \in [0;1]$.

Вихідними даними запропонованого методу є нормалізований вектор ознак \mathbf{X}' , що використовується для подальшої ідентифікації емоційних станів. Отже, метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя дає змогу відобразити обличчя людини, виявлене на відеозаписі, у нормалізований вектор ознак \mathbf{X}' .

Результати експериментів

Для тестування запропонованого методу використано сталонний набір даних ADFES [8]. До навчального набору даних застосовано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя. Вхідними даними методу слугують 110 зображень людських обличчя набору даних ADFES, класифікованими за 5 емоціями. В результаті застосування запропонованого методу отримано матрицю нормалізованих значень $\mathbf{X}' = (x'_{ijk})$, $i = \overline{1,7}$ – ознаки ділянок обличчя, $j = \overline{1,110}$ – об'єкти навчального набору даних, $k = \overline{1,5}$ – досліджувані емоції. Застосування методу гіперплощинної класифікації [9] до розмежування емоційних груп за мімічними проявами отримано дало змогу отримати класифікатор у вигляді роздільної гіперплощини:

$$d(\mathbf{X}') = 0,005565x'_1 + 0,002142x'_2 + 0,027011x'_3 + 0,004986x'_4 - 0,0047x'_5 - 0,01164x'_6 - 0,03891x'_7 + 0,028614. \quad (7)$$

Лінійний класифікатор (7) використано для класифікації емоційних проявів, і як наслідок, ідентифікації змін емоційного стану за мімічними проявами для систем, що відповідають вимогам безпеки. Результати класифікації, що отримані різними методами класифікації за різними методами визначення ознак змін емоційного стану наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати класифікації

Підхід визначення ознак	Точність класифікації	Зважена точність	F_1	Час, с
FACS [2]	0,764	0,696	0,581	0,045
Метод трикутників [4]	0,927	0,849	0,728	0,011
Запропонований метод	0,901	0,841	0,756	0,003

З таблиці 1 бачимо, що запропонований метод перевершив аналоги за метрикою F_1 (75,56%). Хоча метод трикутників продемонстрував вищу точність класифікації (92,73%), запропонований метод показав конкурентні результати у традиційній точності (90,01%) та збалансованої точності (84,18). Водночас використання простих математичних обрахунків у методі геометричної інтерпретації дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У роботі запропоновано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя, що призначений для автоматизованого відображення мімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. Запропонований метод полягає у формуванні семи геометричних фігур на основі побудованих маркерів із подальшим кількісним вираженням цих фігур. Вихідними даними методу є кількісні вираження семи фігур у вигляді кількісних ознак, що застосовуються надалі для класифікації емоційних виразів обличчя. Результати валідування методу підтвердили ефективність запропонованого методу для задачі класифікації змін емоційного стану. Крім того, використання простих математичних обрахунків у нашому методі дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

Література

1. Saxena A. Emotion recognition and detection methods: A comprehensive survey / A. Saxena, A. Khanna, D. Gupta // *Journal of Artificial Intelligence and Systems*. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 53–79.
2. Ekman P. The facial action coding system: The manual / P. Ekman, W. V. Friesen, J. C. Hager // *UT Research Nexus eBook*. – Salt Lake City, 2002. – 527 p.
3. Терейковська Л. Метод нейромережевого розпізнавання емоцій по зображенню обличчя / Л. Терейковська // *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. – 2020. – № 40. – С. 146–152.
4. Revina I. M. MDTP: A novel multi-directional triangles pattern for face expression recognition / I. M. Revina, W. R. S. Emmanuel // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78, No. 18. – P. 26223–26238.
5. Nasir M. Fuzzy triangulation signature for detection of change in human emotion from face video image sequence / M. Nasir, P. Dutta, A. Nandi // *Multimedia Tools and Applications*. – 2021. – Vol. 80. – P. 31993–32022.
6. Barmak O. Model of the facial emotions expressions based on grouping classes of feature vectors / O. Barmak, O. Kalyta, Iu. Krak, E. Manziuk, V. Kuznetsov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Cham, 2020. – Vol. 1246. – P. 65–76.
7. MediaPipe: A framework for building perception pipelines / Lugaresi C. et al // *arXiv:1906.08172*. – 2019. P. 1–9.
8. van der Schalk J. Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam dynamic facial expression set (ADFES) / J. van der Schalk, S. T. Hawk, A. H. Fischer, B. Doosje // *Emotion*. – 2011. – Vol. 11, No. 4. – P. 907–920.
9. Barmak A. V. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear classifiers / A. V. Barmak, Y. V. Krak, E. A. Manziuk, V. S. Kasianiuk // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2019. – Vol. 51, No. 5. – P. 54–64.

References

1. Saxena A. Emotion recognition and detection methods: A comprehensive survey / A. Saxena, A. Khanna, D. Gupta // *Journal of Artificial Intelligence and Systems*. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 53–79.
2. Ekman P. The facial action coding system: The manual / P. Ekman, W. V. Friesen, J. C. Hager // *UT Research Nexus eBook*. – Salt Lake City, 2002. – 527 p.
3. Tereikovska L. Metod neiromerezhevoho rozpoznavannia emotsii po zobrazhenniu oblychchia / L. Tereikovska // *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. – 2020. – № 40. – С. 146–152.
4. Revina I. M. MDTP: A novel multi-directional triangles pattern for face expression recognition / I. M. Revina, W. R. S. Emmanuel // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78, No. 18. – P. 26223–26238.
5. Nasir M. Fuzzy triangulation signature for detection of change in human emotion from face video image sequence / M. Nasir, P. Dutta, A. Nandi // *Multimedia Tools and Applications*. – 2021. – Vol. 80. – P. 31993–32022.
6. Barmak O. Model of the facial emotions expressions based on grouping classes of feature vectors / O. Barmak, O. Kalyta, Iu. Krak, E. Manziuk, V. Kuznetsov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Cham, 2020. – Vol. 1246. – P. 65–76.
7. MediaPipe: A framework for building perception pipelines / Lugaresi C. et al // *arXiv:1906.08172*. – 2019. P. 1–9.
8. van der Schalk J. Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam dynamic facial expression set (ADFES) / J. van der Schalk, S. T. Hawk, A. H. Fischer, B. Doosje // *Emotion*. – 2011. – Vol. 11, No. 4. – P. 907–920.
9. Barmak A. V. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear classifiers / A. V. Barmak, Y. V. Krak, E. A. Manziuk, V. S. Kasianiuk // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2019. – Vol. 51, No. 5. – P. 54–64.

Рецензія/Peer review : 18.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

ЛОПАТТО І. Ю.

ORCID ID: 0000-0001-6886-2238

e-mail: ivan.lopatto@gmail.com

ГОВОРУЩЕНКО Т. О.

ORCID ID: 0000-0002-7942-1857

e-mail: tat_yana@ukr.net

КАПУСТЯН М. В.

ORCID ID: 0000-0001-9200-1622

e-mail: kapustian.mariia@gmail.com

Хмельницький національний університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АГЕНТ ВЕРИФІКАЦІЇ ВРАХУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ В ПРОЦЕСІ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

У статті проведено аналіз відомих інтелектуальних агентів, який показав, що відомі інтелектуальні агенти не розв'язують задачу верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем, відтак необхідним є розроблення концепції діяльності такого інтелектуального агента. Тому у статті запропоновано концепцію інтелектуального агента верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем, який базується на порівнянні ідеальної та реальної онтологій, в яких міститься відповідно необхідна та наявна інформація на кожному з етапів життєвого циклу програмної системи. Таке попарне порівняння відповідних онтологій дасть можливість побачити втрати інформації на кожному етапі життєвого циклу, а також оцінити їх об'єми.

Ключові слова: програмні системи (ПС), інформація предметної галузі, верифікація врахування інформації, інтелектуальний агент.

IVAN LOPATTO, TETIANA NOVORUSHCHENKO, MARIIA KAPUSTIAN
Khmelnitskyi National University

INTELLECTUAL AGENT OF VERIFICATION OF TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION OF THE SUBJECT DOMAIN IN THE PROCESS OF DEVELOPING SOFTWARE SYSTEMS

Abstract – When developing software systems, there is a gap in knowledge about the characteristics of the future software system. This gap is due in part to the partial consideration or non-consideration of information in the subject area during the life cycle of the software system. The size of the knowledge gap is not constant during the life cycle of the software system - the emergence of new information in the subject area may increase or decrease the size of the knowledge gap, depending on the degree of its consideration. For further successful implementation and use of the software system, it is desirable to reduce the size of the knowledge gap, taking into account as much information of the subject area during its life cycle. Therefore, fundamentally new approaches are needed, taking into account the information of the subject area in the process of software development of computer systems.

The article analyzes the known intellectual agents, which showed that well-known intelligent agents do not solve the problem of verifying the consideration of information in the subject area in the development of software systems, so it is necessary to develop a concept of such an intelligent agent.

Therefore, the article proposes the concept of an intellectual agent of verification of taking into account information of the subject domain in the process of developing software systems, which is based on the comparison of ideal and real ontologies, which contain the necessary and available information at each stage of the software life cycle. Such a pairwise comparison of relevant ontologies will make it possible to see the loss of information at each stage of the life cycle, as well as to estimate their volume.

The perspective directions of future authors' work: development of basic ontologies for all documents at each stage of the software system life cycle - based on relevant standards, guidelines, etc.; modeling and development of a method of activity of the intellectual agent of verification of the account of the information of subject branch in the course of development of software systems; implementation of an intelligent agent for verifying the consideration of information in the subject area in the process of developing software systems.

Keywords: software systems, subject area information, information accounting verification, intelligent agent.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогодні галузь розроблення програмних систем стала однією із найдорожчих [1]. При вирішенні складних задач ключовими виконавцями наразі є програмні системи. Тому, будь-які «вузькі» (проблемні) місця в технологічному процесі його розроблення можуть призвести до небажаних, негативних результатів. Проте значна кількість (порядку 70%) програмних проєктів є неуспішними (з перевитратами часу, коштів, з недостатнім функціоналом або такими, що скасовуються до завершення і ніколи не використовуються), і лише до 30% програмних проєктів є успішними (виконуються в межах запланованих часу та бюджету) [2].

Однією з причин низької успішності реалізації програмних систем є недостатність уваги, приділеної інформації предметної галузі на різних етапах життєвого циклу, її достатності, достовірності, точності. Часто розробники нехтують інформацією предметної галузі з малою ймовірністю, а інколи нехтують, навіть не оцінивши її імовірність. Таке нехтування інформацією предметної галузі на всіх етапах життєвого циклу є одним з критичних факторів при розробленні програмних систем [3, 4].

Розроблення програмних систем вимагає врахування інформації предметної галузі на усіх етапах його проєктування та розробки з метою підвищення його надійності, функціональної безпеки, живучості та гарантоздатності. Відтак, актуальною задачею є верифікація врахування інформації предметної галузі в

процесі розроблення програмних систем. Для її розв'язання слід розробити інтелектуального агента, який проводитиме верифікацію врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем, що і є *метою даного дослідження*.

Аналіз відомих інтелектуальних агентів, використовуваних у процесі розроблення програмних систем

Наразі ряд досліджень присвячено розробленню інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу для галузі інженерії програмного забезпечення, застосованих на ранніх етапах життєвого циклу програмних систем – огляд таких агентів проведено авторами у [5].

Крім цього, розроблено ряд інтелектуальних агентів, які можуть використовуватися на інших етапах життєвого циклу програмних систем.

Так, у [6] є підхід концептуальної інженерії програмного забезпечення, який зосереджений на підтримці цілей продуктивності та якості під час розробки програмних систем. Дослідження [7] спрямоване на покращення управління ризиками в програмних проектах на основі інтелектуальних агентів і нечітких систем. У статті [8] обговорюються пов'язані з цим проблеми агентно-орієнтованого програмування та висувається фреймворк агентно-орієнтованого програмування, який має важливе значення для подолання програмної кризи.

Система інтелектуального навчання на основі агентів, розроблена в [9], виконує аналіз функціональних точок у середовищі, що забезпечує візуалізацію, негайний зворотний зв'язок, інтерактивну та керовану допомогу. Інтерактивні агентні підходи, орієнтовані на користувача, підтримують розробника на початку та під час концептуального проектування програмного забезпечення і досліджуються у роботі [10] за допомогою засобів тематичного дослідження.

Автори роботи [11] представляють багаторівневий агентний підхід до реалізації правил проектування бізнес-додатків протягом усього життєвого циклу програмного забезпечення. Структура додатків, описана в цьому документі, охоплює та роз'яснює ключові питання дизайну бізнес-додатків за допомогою розгортання аспектно-орієнтованих та інтелектуальних агентів, які можуть навчатися та адаптуватися до змін середовища, щоб забезпечити правила проектування бізнес-додатків протягом усього життєвого циклу програмного забезпечення. У роботі [12] описано випадки застосування технологій інтелектуальних систем у сучасній системі керування життєвим циклом продукції. Зокрема, автори роботи [12] пропонують новий підхід, заснований на онтології, семантичній мережі та концепції агента, для автоматизації розробки нового продукту.

Проведений аналіз відомих інтелектуальних агентів показав, що відомі інтелектуальні агенти не розв'язують задачу верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем, відтак необхідним є розроблення інтелектуального агента верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем.

Інтелектуальний агент верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем

У [13] авторами було розроблено метод діяльності інтелектуального агента на основі онтології для оцінки початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення. Цей метод базується на порівнянні ідеальної та реальної онтологій, в яких міститься інформація про нефункційні вимоги до програмної системи у специфікації вимог до ПЗ, причому в ідеальній онтології міститься вся необхідна інформація щодо нефункційних вимог, а в реальній онтології присутня наявна інформація щодо нефункційних вимог. Відтак порівняння таких двох онтологій дасть можливість побачити втрати інформації щодо нефункційних вимог у специфікації вимог до ПЗ, а також оцінити їх об'єми.

Такий підхід може бути використаний і для опису діяльності інтелектуального агента верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі всього життєвого циклу програмних систем.

Незалежно від обраної моделі життєвого циклу, на кожному з етапів життєвого циклу програмних систем формується певний документ (план, специфікація вимог до програмної системи, дизайн (архітектура) програмної системи, сирцевий код, продукт, тощо), в якому повинна бути наявна певна (як правило, визначена відповідним стандартом) інформація.

Тоді, враховуючи, яка інформація повинна бути наявна у відповідному документі, слід побудувати ідеальні онтології – для кожного документу. При цьому основну увагу слід приділити інформації предметної галузі, яка може і повинна бути врахована у відповідному документі на відповідному етапі життєвого циклу програмної системи.

В процесі роботи над реальною програмною системою, розробниками формуватимуться такі реальні документи, тоді на їх основі слід формувати реальні онтології – для кожного документу.

Після цього слід порівняти реальні онтології, розроблені по кожному відповідному реальному документу (етапу життєвого циклу програмної системи), з розробленими раніше відповідними ідеальними онтологіями. Порівняння двох відповідних онтологій для кожного документу надасть множини відсутніх у відповідних документах інформаційних елементів, які уможливають побачити втрати інформації предметної галузі у цьому документі, а також оцінити їх об'єми.

Для оцінювання об'ємів інформаційних втрат можуть бути використані запропоновані у [5, 13] формули числової оцінки рівня достатності наявної інформації – з адаптацією до відповідного документу та доступній у ньому інформації.

Концепція інтелектуального агента верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем представлена на рис. 1.

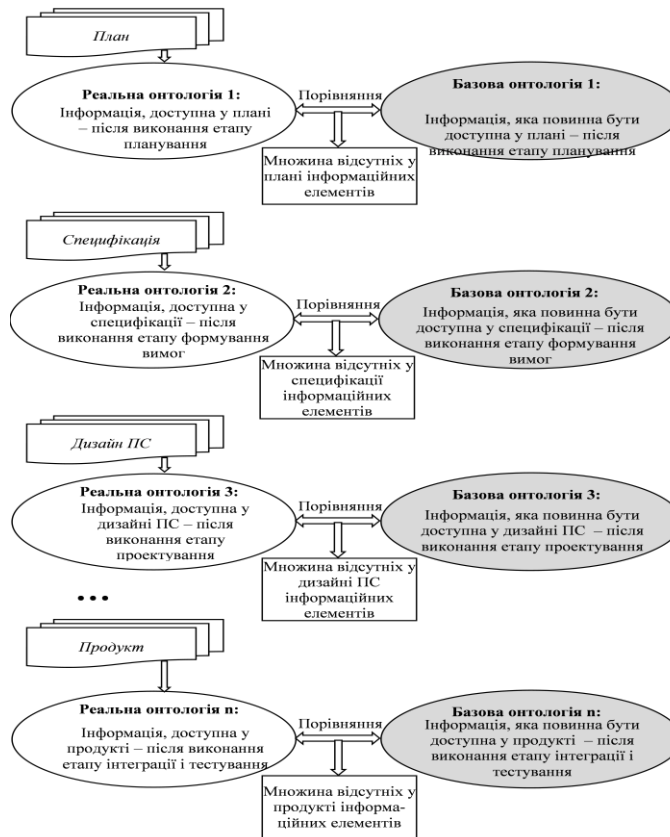


Рис. 1. Концепція інтелектуального агента верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

При розробленні програмних систем існує розрив у знаннях про характеристики майбутньої програмної системи. Цей розрив з'являється в тому числі через часткове врахування або неврахування інформації предметної галузі протягом життєвого циклу програмної системи. Розмір розриву у знаннях не є сталим під час життєвого циклу програмної системи – при появі нової інформації предметної галузі може відбутись збільшення або зменшення розміру розриву у знаннях в залежності від ступеня її врахування. Для подальших успішних реалізації та використання програмної системи, розмір розриву у знаннях бажано зменшувати, враховуючи якнайбільше інформації предметної галузі протягом її життєвого циклу. Тому потрібні принципово нові підходи, пов'язані із врахуванням інформації предметної галузі в процесі розроблення програмного забезпечення комп'ютерних систем.

У статті проведено аналіз відомих інтелектуальних агентів, який показав, що відомі інтелектуальні агенти не розв'язують задачу верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем, відтак необхідним є розроблення концепції діяльності такого інтелектуального агента.

Тому у статті запропоновано концепцію інтелектуального агента верифікації врахування інформації предметної галузі в процесі розроблення програмних систем, який базується на порівнянні ідеальної та реальної онтологій, в яких міститься відповідно необхідна та наявна інформація на кожному з етапів життєвого циклу програмної системи. Таке попарне порівняння відповідних онтологій дасть можливість побачити втрати інформації на кожному етапі життєвого циклу, а також оцінити їх об'єми.

Перспективними напрямками роботи авторів є: розробка базових онтологій для всіх документів на кожному етапі життєвого циклу програмної системи - на основі відповідних стандартів, рекомендацій тощо; моделювання та розробка методу діяльності інтелектуального агента перевірки врахування інформації предметної галузі в процесі розробки програмних систем; впровадження інтелектуального агента для перевірки врахування інформації предметної області в процес розробки програмних систем.

Література

1. Shane H. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch [Electronic resource] / H. Shane, S. Wojewoda. – Access mode: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015>

2. The Standish Group Report CHAOS [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.projectsmart.co.uk/white-papers/chaos-report.pdf>
3. PMI's Pulse of the Profession 9-th Global Project Management Survey [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2017.pdf>
4. Pomorova O. The way to detection of software emergent properties / O. Pomorova, T. Hovorushchenko. – Proceedings of the 8-th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2015. – Vol.2. – Pp. 779-784.
5. Hovorushchenko T. Development of an Intelligent Agent for Analysis of Nonfunctional Characteristics in Specifications of Software Requirements / T. Hovorushchenko, O. Pavlova, M. Bodnar. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. – Vol. 1. – No. 2. – Pp. 6-17.
6. Meyer O. Towards Concept based Software Engineering for Intelligent Agents / O. Meyer, V. Gruhn. – Proceedings of 2019 IEEE/ACM 7-th International Workshop on Realizing Artificial Intelligence Synergies in Software Engineering (RAISE), 2019. – INSPEC Accession Number: 18972916.
7. De Oliveira C. Learning Risk Management in Software Projects with a Serious Game Based on Intelligent Agents and Fuzzy Systems / C. De Oliveira, M. Cintra, F. Neto. – Proceedings of the 8-th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT), 2013. – Pp. 834-839.
8. Yan H. Related Discussion on Agent-oriented Programming / H. Yan. – AER-Advances in Engineering Research. – 2016. – Vol. 67. – Pp. 1315-1317.
9. Rahman A. The Architecture of Agent-Based Intelligent Tutoring System for the Learning of Software Engineering Function Point Metrics / A. Rahman, M. Abdullah, S. Alias. – Proceedings of 2016 2-nd International Symposium on Agent, Multi-Agent Systems and Robotics (ISAMSR), 2016. – Pp. 139-144.
10. Simons C. User-centered, Evolutionary Search in Conceptual Software Design / C. Simons, I. Parmee. – Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2008. – Pp. 869-876.
11. Akkawi F. The multi-layered approach to building intelligent systems / F. Akkawi, A. Bader, T. Elrad. – Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence, 2001. – Pp. 184-189.
12. Abadi A. Using ontologies for the integration of information systems dedicated to product (CFAO, PLM...) and those of systems monitoring (ERP, MES..) / A. Abadi, S. Sekkat, E. Zemmouri, H. Benazza. – Proceedings of 10-th International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), 2017. – Pp. 59-64.
13. Hovorushchenko T. Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle / T. Hovorushchenko, O. Pavlova. – Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – Vol. 836. – Pp. 169-178.

References

1. H. Shane. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch [Electronic resource] / H. Shane, S. Wojewoda. – Access mode: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015>
2. The Standish Group Report CHAOS [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.projectsmart.co.uk/white-papers/chaos-report.pdf>
3. PMI's Pulse of the Profession 9-th Global Project Management Survey [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2017.pdf>
4. O. Pomorova, T. Hovorushchenko. The way to detection of software emergent properties. – Proceedings of the 8-th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2015. – Vol.2. – Pp. 779-784.
5. T. Hovorushchenko, O. Pavlova, M. Bodnar. Development of an Intelligent Agent for Analysis of Nonfunctional Characteristics in Specifications of Software Requirements. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. – Vol. 1. – No. 2. – Pp. 6-17.
6. O. Meyer, V. Gruhn. Towards Concept based Software Engineering for Intelligent Agents. – Proceedings of 2019 IEEE/ACM 7-th International Workshop on Realizing Artificial Intelligence Synergies in Software Engineering (RAISE), 2019. – INSPEC Accession Number: 18972916.
7. C. De Oliveira, M. Cintra, F. Neto. Learning Risk Management in Software Projects with a Serious Game Based on Intelligent Agents and Fuzzy Systems. – Proceedings of the 8-th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT), 2013. – Pp. 834-839.
8. H. Yan. Related Discussion on Agent-oriented Programming. AER-Advances in Engineering Research. – 2016. – Vol. 67. – Pp. 1315-1317.
9. Rahman, M. Abdullah, S. Alias. The Architecture of Agent-Based Intelligent Tutoring System for the Learning of Software Engineering Function Point Metrics. – Proceedings of 2016 2-nd International Symposium on Agent, Multi-Agent Systems and Robotics (ISAMSR), 2016. – Pp. 139-144.
10. Simons, I. Parmee. User-centered, Evolutionary Search in Conceptual Software Design. – Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2008. – Pp. 869-876.
11. F. Akkawi, A. Bader, T. Elrad. The multi-layered approach to building intelligent systems. – Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence, 2001. – Pp. 184-189.
12. Abadi, S. Sekkat, E. Zemmouri, H. Benazza. Using ontologies for the integration of information systems dedicated to product (CFAO, PLM...) and those of systems monitoring (ERP, MES...). – Proceedings of 10-th International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), 2017. – Pp. 59-64.
13. T. Hovorushchenko, O. Pavlova. Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle. – Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – Vol. 836. – Pp. 169-178.

КРАВЦОВ А. Г.

ORCID ID: 0000-0003-3103-6594

e-mail: kravcov_84@ukr.net

ЛЕВКІН Д. А.

ORCID ID: 0000-0002-1980-4426

e-mail: dimalevkin23@gmail.com

БЕРЕЖНА Н. Г.

ORCID ID: 0000-0001-8740-3387

e-mail: bereg_nat@ukr.net

Державний біотехнологічний університет

МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ МОЖЛИВИХ РИЗИКІВ У РОЗВ'ЯЗАННІ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ

В статті розроблені математичні моделі та вдосконалені обчислювальні методи в частині врахування специфіки модельованих процесів для прогнозування та контролю можливих ризиків з метою підвищення ефективності розв'язання прикладних задач. Авторами запропонована методика управління технологічними інноваціями для підвищення ефективності функціонування складних систем. В якості демонстрації її універсальності в статті здійснені розрахунок і оптимізація технічних параметрів лазерних випромінювачів для підвищення швидкості і точності лазерного поділу ембріона. У зв'язку з технічними характеристиками випромінювачів і особливостями геометрії ембріона, для опису стану модельованої системи застосовані нелокальні крайові задачі систем багатовимірних, нелінійних диференціальних рівнянь теплопровідності. Для доказу умов існування і єдиності їх розв'язку використані методи з теорії диференціальних рівнянь в просторі узагальнених функцій. Це дозволило гарантувати коректність розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей.

Авторами сформована сіткова модель дискретизації оптимізованих параметрів, розв'язані крайові задачі, використовуючи метод спрямованого перебору локальних екстремумів, виконане порівняння травмованості клітин, яка досягається в вузлових точках сіткової моделі. З метою підвищення точності оптимізації здійснене подрібнення кроків сіткової моделі. Подрібнення і поточковий аналіз травмованості клітин ембріона продовжується до поки не буде вичерпаний час, відведений на оптимізацію, чи не буде досягнута задана точність оптимізації. На думку авторів статті, проведені дослідження дали змогу розширити коло задач економіко-математичного моделювання з прогнозування і контролю можливих ризиків для підвищення ефективності розрахунку і оптимізації управляючих параметрів складних систем.

Ключові слова: прогнозування, контроль, ризику, оптимізація, крайові задачі, економіко-математичне моделювання.

ANDRII KRAVTSOV, DMYTRO LEVKIN, NATALIJA BEREZHNAJA
State Biotechnological University

POSSIBLE RISKS CONTROL METHODOLOGY IN SOLVING APPLIED PROBLEMS

The article deals with developed mathematical models and improved computational methods in terms of taking into account the specifics of the simulated processes to predict and control possible risks in order to increase the efficiency of solving applied problems. The authors propose a method of technological innovations managing to improve the efficiency of complex systems. As a demonstration of its universality, the article calculates and optimizes the technical parameters of laser emitters to increase the speed and accuracy of laser separation of the embryo. Due to the technical characteristics of the emitters and the geometry of the embryo, nonlocal boundary value problems of systems of multidimensional, non-linear differential equations of thermal conductivity are used to describe the state of the simulated system. Methods from the theory of differential equations in the space of generalized functions are used to prove the conditions of existence and the uniqueness of their solution. This allowed to guarantee the correctness of computational and applied optimization mathematical models.

The authors have formed a grid model of discretization of optimized parameters, solved boundary value problems using the method of directed search of local extremums, compared to the trauma of cells, which is achieved at the nodes of the grid model. In order to increase the accuracy of optimization, the steps of the grid model were ground. Grinding and spot analysis of embryonic cell injury continues until the time allotted for optimization is exhausted or the specified optimization accuracy is achieved. According to the authors of the article, the research allowed to expand the range of tasks of economic and mathematical modeling for forecasting and control of possible risks to improve the efficiency of calculation and optimization of control parameters of complex systems.

Keywords: forecasting, control, risks, optimization, boundary value problems, economic and mathematical modeling.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Одним із завдань сучасної теорії економіко-математичного моделювання є розробка математичних моделей і методів прогнозування та контролю можливих ризиків для збільшення швидкості і точності розв'язання прикладних задач. Це можливо досягти за рахунок об'єднання досліджень тих науковців, які займаються розв'язанням споріднених задач. Таким чином, необхідно запропонувати методологічний підхід стосовно до розрахунку і оптимізації управляючих параметрів пристроїв, які забезпечують функціонування певних процесів: лазерного зварювання біоматеріалу, ділення натуральної шкіри. Методологічний підхід, який базується на вже відомих математичних моделях та обчислювальних методах, в залежності від

обраного досліджуваного процесу може бути застосований для розрахунку управляючих параметрів будь-яких складних систем. Розвиток інформаційних технологій і широке застосування автоматизованих систем керування в практично всі сфери діяльності людини дозволяє майже миттєво реалізувати деякі етапи алгоритму за рахунок застосування комп'ютерів. Точність розрахунку параметрів процесів досягається за рахунок великої кількості ітерацій з побудови і розв'язання крайових задач, які описують стан модельованих систем. Отже, на етапі математичного моделювання за рахунок збільшення швидкості і точності розрахунку управляючих параметрів складних систем можливо збільшити точність розв'язання прикладних задач економіко-математичного моделювання, що дасть змогу розширити коло прикладних задач економіко-математичного моделювання.

Аналіз досліджень та публікацій

На основі здійсненого авторами даної статті всебічного детального аналізу наукових публікацій, які стосуються тематики управління технологічними інноваціями для прогнозування та контролю можливих ризиків при розв'язанні прикладних задач, виділені наукові публікації [1–11]. В статтях [1–3] розв'язані задачі прогнозування, виявлення та контролю можливих ризиків для підвищення ефективності товарообігу аграрних підприємств в умовах ринкової економіки. Детально досліджені питання розрахунку та оптимізації технічних систем з метою підвищення ефективності функціонування деяких технологічних процесів [4–6]. В публікаціях [7, 8] побудовані математичні моделі і вдосконалені чисельні методи з метою уточнення технічних характеристик пристроїв для забезпечення кріоконсервації ембріонів в рідкому азоті. Математичне моделювання та оптимізація складних систем для збільшення якості функціонування деяких біотехнологічних процесів виконані в публікаціях [9, 10]. Авторами статті [11] досліджені деякі аспекти побудови та реалізації розрахункових математичних моделей, а також їх застосування для розв'язання прикладних задач.

На думку авторів статті, з метою підвищення швидкості і точності розв'язання прикладних задач необхідно запропонувати цілісний (для споріднених процесів) підхід, який буде базуватися на математичних моделях і обчислювальних методах. Результати застосування запропонованої методики використані для розрахунку та оптимізації біотехнологічних систем.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є запропонувати методику прогнозування і контролю можливих ризиків у розв'язанні прикладних задач економіко-математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу

З урахуванням інформації про час та потужність лазерної дії на ембріон, просторову форму ембріона, коефіцієнти теплопровідності, температуропровідності та густини в шарах мікробіологічного об'єкта, система диференціальних рівнянь з крайовою задачею, яка описує стан модельованої біотехнологічної системи має вид:

$$\begin{cases} 5.46 \frac{\partial T_1}{\partial t} = 0.71 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + 55.02, \text{ при } r \in [20; 50], t \in [400; 2250]; \\ 5.13 \frac{\partial T_2}{\partial t} = 0.91 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + 452.4, \text{ при } r \in [50; 60], t \in [2250; 2500]. \end{cases} \quad (1)$$

Граничні умови на зовнішній оболонці (зоні пелюцида) та в клітинах зародків, на початку і наприкінці, відповідно, термічної дії:

$$\begin{cases} T(0; 0) = 100 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ T(53; 2550) = 37 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (2)$$

Граничні умови питомого теплового потоку на зоні пелюцида:

$$-0,67 \frac{\partial T_1}{\partial r}(0, t) = 4,4. \quad (3)$$

Рівності розділу в шарах ембріона:

$$T_1(20; 400) = T_2(50; 2500), -0,71 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -0,96 \frac{\partial T_2}{\partial r}. \quad (4)$$

Рівності неперервності температурних полів в зоні пелюцида та в клітинах зародків:

$$\begin{cases} T(20; 400 - 0) = T(20; 400 + 0); \\ T(50; 2500 - 0) = T(50; 2500 + 0). \end{cases} \quad (5)$$

Крайова задача (1)–(5) коректна в просторі функцій степеневого зростання, оскільки система (1) є збуренням рівняння теплопровідності, при чому, символ збуреного диференціального оператора підлеглий символу оператора рівняння теплопровідності.

Провівши редукцію розмірності технічних параметрів випромінювачів, сформували рівномірну сіткову модель дискретизації потужності та часу лазерної дії. Будемо шукати розв'язок диференціального

рівняння теплопровідності з системи (1) у виді степеневого ряду:

$$u(r) = \left(\sum_{k=0}^{\infty} c_k r^{k-1} \right) e^{ct}. \quad (6)$$

Застосувавши метод відокремлених змінних, отримали два диференціальні рівняння:

$$v'(t) = cv(t), \quad (7)$$

$$u''(r) + \frac{2}{r} u'(r) = \frac{c}{a} u(r). \quad (8)$$

Розв'язок рівняння (7) знайти не складно ($v(t) = e^{ct}$) тоді, як для розв'язання рівняння (8) потрібно побудувати характеристичний поліном:

$$\lambda^2 + \lambda = 0 \quad (9)$$

Провівши алгебраїчні обчислення отримали розв'язок рівняння з системи (1) для зони пелюцида і клітин зародків, відповідно:

$$T_1(r, t) = \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k-1}}{(0,13)^k ((2k)!!)^2} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k}}{(0,13)^k ((2k+1)!!)^2} \right) e^{ct} - 70,5r^2, \quad (10)$$

$$T_2(r, t) = \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k-1}}{(0,18)^k ((2k)!!)^2} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k}}{(0,18)^k ((2k+1)!!)^2} \right) e^{ct} - 419r^2. \quad (11)$$

Методом невизначених коефіцієнтів обчислили температуру лазерної дії на зону пелюцида ($92,4^\circ\text{C}$) і клітини зародків ($61,7^\circ\text{C}$). Для розрахунку травмованості клітин скористалися формулою:

$$V_{\text{segm.}} = \frac{\pi \left(r_1 h_1 - \frac{h_1^3}{3} \right)}{138430,7\pi}, \quad (12)$$

де r_1, h_1 – відрізки просторової координати розподілу температури.

Покроковий аналіз травмованості, яка досягається в вузлах крупної рівномірної сітки (вузли сітки відповідають значенням потужності і часу лазерної дії на ембріон) провели методом спрямованого перебору локальних екстремумів температурного поля. Отримали, що в вузлах рівномірної сіткової моделі травмованість зародків становить від 8% до 20%. З метою пошуку оптимальних значень потужності і часу термічної дії на ембріон здійснене подрібнення кроків сіткової моделі і процес пошуку і спрямованого перебору локальних екстремумів повторюється до поки не буде вичерпаний час, відведений на оптимізацію або не буде досягнута задана точність оптимізації. Після проведених ітерацій з розв'язання крайових задач і покрового аналізу локальних екстремумів температурного поля, отримали раціональні значення потужності (110 мВт) і часу лазерної дії (3 мкс) на ембріон, за якими травмованість клітин зародків становить 8,4%. На заключному етапі оптимізації управляючих параметрів процесу виводяться оптимальні значення технічних параметрів, температури нагріву зони пелюцида і клітин зародків. Математичне моделювання та оптимізація інших складних систем розглядалися в публікаціях авторів [12–14].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У статті запропонована та детально досліджена методика розв'язання прикладних задач економіко-математичного моделювання з прогнозування та контролю можливих ризиків для підвищення ефективності розрахунку і оптимізації управляючих параметрів складних систем. Авторами застосована методика для збільшення швидкості і точності біотехнологічного процесу лазерного поділу ембріона. Відзначимо, що у разі вибору іншого досліджуваного об'єкта зазнають зміни математичні моделі і обчислювальні методи, які входять до побудованої структури, але набір структурних елементів в запропонованій методиці можливо залишити без змін.

References

1. Babenko V. Aspects of program control over technological innovations with consideration of risks. / V. Babenko, O. Nazarenko, I. Nazarenko, O. Mandych, M. Krutko. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 3. No. 4 (93): Mathematics and Cybernetics applied aspects. – Pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133603>
2. Levkina R.V. The economic-mathematical model of risk analysis in agriculture in conditions of uncertainty. / R.V. Levkina, I.I. Kravchuk, I.V. Sakhno, K.M. Kramarenko, A.A. Shevchenko. // Financial and credit activity: problems of theory and practice. – 2019. – Vol. 3. No. 30. – Pp. 248–255.
3. Potyshniak O. Assessment of the effectiveness of the strategic management system of investment activities of companies. / O. Potyshniak, L. Dobuliak, V. Filippov, Y. Malakhovskiy, O. Lozova. // Academy of Strategic Management Journal. – 2019. – Vol. 18. Issue. 4. – Pp. 1–5.
4. Scoblo T.S. Features of the carbide phase degradation under heating and deformation. / T.S. Scoblo, O.Y. Klochko, V.N. Romanchenko, E.L. Belkin. // Letters on Materials. – 2021. – Vol. 11. No. 1. – Pp. 22–27. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-1-22-27>
5. Vojtov V.A. Criteria for evaluation of tribus system practices and its communication with tribological characteristics. / V.A. Vojtov, A.S.H. Bekirov, A.V. Voitov. // Problems of Tribology. – 2018. – Vol. 88. No. 2. – Pp. 35–42.

6. Vojtov V.A. Running-in Procedures and Performance Tests for Tribosystems. / V.A. Vojtov, A.Sh. Biekirov, A.V. Voitov, B.M. Tsybal. // *Journal of Friction and Wear*. – 2019. – Vol. 40. Issue. 5. – Pp. 376–383. <https://doi.org/10.3103/S1068366619050192>
7. Shakhova Yu.Yu. Use of multicomponent cryoprotective media during cryopreservation of murine embryos by vitrification. / Yu.Yu. Shakhova, A.P. Paliy, A.P. Paliy, V.O. Shigimaga, V.M. Kis, V.I Ivanov. // *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. – 2020. – Vol. 30. No. 2. – Pp. 203–206. <https://doi.org/10.15407/cryo30.02.203>
8. Smolyaninova Y.I. Electric conductivity and resistance of mouse oocyte membranes to effect of pulsed electric field in cryoprotectant solutions. / Y.I. Smolyaninova, V.A. Shigimaga, A.A. Kolesnikova, L.I. Popivnenko, A.F. Todrin. // *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. – 2018. – Vol. 28. No. 4. – Pp. 311–321. <https://doi.org/10.15407/cryo28.04.311>
9. Paliy A.P. Species composition of microbiota of cows udder and raw milk quality at mastitis. / A.P. Paliy, Y.S. Ulko, O.O. Bogomolov, L.V. Kis-Korkishchenko, M.D. Kambur, A.A. Zamazyi et al. // *Ukrainian journal of ecology*. – 2020. – Vol. 10. No. 4. – Pp. 78–85. DOI: 10.15421/2020_171
10. Levkina R. Current approaches to biotechnology in animal husbandry. / R. Levkina, A. Petrenko, N. Kolomiets. // *International Journal of Advanced Science and Technology*. – 2020. – Vol. 29. Issue. 8 Special issue. – Pp. 2463–2469.
11. Asrorov F. Finding of bounded solutions to linear impulsive systems. / F. Asrorov, V. Sobchuk, O. Kurylko. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 6. No. 4 (102): Mathematics and Cybernetics - applied aspects. – Pp. 14–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178635>
12. Skoblo T.S. Influence of Stresses on Structural Changes in Gray Cast Iron. / T.S. Skoblo, O.I. Sidashenko, O.V. Saichuk, O.Yu. Klochko, D.A. Levkin. // *Materials Science*. – 2020. – Vol. 56. No. 3. – Pp. 347–358. <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00436-8>
13. Kravtsov A. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives. / A. Kravtsov, A. Suska, A. Biekirov, D. Levkin. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 3. No. 7 (111): Applied mechanics. – Pp. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>
14. Volkov V. Determining the efficient management system for a specialized transport enterprise. / V. Volkov, I. Taran, T. Volkova, O. Pavlenko, N. Berezhnaja. // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – 2020. – Vol. 4. – Pp. 185–191. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/185>

Рецензія/Peer review : 26.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-128-133

УДК 685.31.051.1

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.

ORCID ID: 0000-0001-6258-0088

e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

ЗВО «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

ПАНАСЮК І. В.

ORCID ID: 0000-0001-6671-4266

e-mail: panasjuk1961@gmail.com

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ШЛЯХИ УСУНЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ У ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ ПРЕСІВ ДЛЯ ВИРУБКИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Виконані дослідження роботи гідравлічних вирубних пресів типу «ПВГ 8-2-0» та «ПВГ 8». Такі типи гідравлічних пресів використовуються у легкій промисловості при виготовленні взуття. Зокрема, на пресах типів «ПВГ 8-2-0» та «ПВГ 8» виконується вирубка гумових та картонних деталей низу взуття. Проведені експериментальні дослідження причин перевантажень у гідравлічних системах даних типів пресів. Встановлено, що у кінці процесу вирубки кожної деталі відбувається різке значне стрибкоподібне збільшення тиску у гідросистемі. Таке збільшення тиску виникає у зв'язку з утворенням жорсткої системи ударник – різак – плита. Такі постійні циклічні закиди тиску негативно впливають на експлуатаційні характеристики обладнання, зокрема, призводять до передчасного зносу робочого інструменту та поломок деталей гідросистем. Також були проведені аналітичні дослідження. На основі аналітичних досліджень виконано розрахунок величини «стрибків» тиску у гідравлічних системах пресів, а також виявлено фактори, які впливають на величину перевантажень. Встановлено, що одним із основних факторів, який впливає на величину перевантаження, являється жорсткість системи. Отримані математичні залежності між модулем пружності металевих елементів гідросистеми, їх геометричними параметрами та величиною закиду тиску. Наведено вичерпні рекомендації, щодо вдосконалення конструкцій пресів, що створюють умови для зниження перевантажень у їх гідравлічних системах під час процесу вирубки деталей. Встановлено, що для зниження перевантажень під час вирубки у гідравлічні системи пресів необхідно додавати пружні елементи – ємкості з повітряною подушкою або підпружиненим поршнем (акумулятори), короткі ділянки трубопроводів з еластичними стінками, що будуть забезпечувати можливість їх тимчасової пружної діаметральної деформації. Запропоновано методика розрахунку величини закиду тиску у гідросистемах типових пресів на прикладі пресу «ПВГ 8-2-0». Отримані результати досліджень можуть бути корисними та використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування даного обладнання.

Ключові слова: вирубний прес, різак, деталі взуття, гідросистема, закиди тиску.

MARK ZALYUBOVSKIY

Open International University of Human Development "Ukraine"

IGOR PANASYUK

Kyiv National University of Technology and Design

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE CAUSES OF OVERLOADS IN HYDRAULIC SYSTEMS OF STANDARD PRESSES FOR CUTTING LIGHT INDUSTRY PARTS HAVE BEEN PERFORMED

Studies of the operation of hydraulic cutting presses such as "PVG 8-2-0" and "PVG 8". These types of hydraulic presses are used in light industry in the manufacture of footwear. In particular, the presses of the "PVG 8-2-0" and "PVG 8" types are used for cutting rubber and cardboard parts of the shoe bottom. Experimental studies of the causes of overloads in hydraulic systems of these types of presses have been carried out. It is established that at the end of the process of cutting each part there is a sharp significant abrupt increase in pressure in the hydraulic system. This increase in pressure occurs due to the formation of a rigid system drummer - cutter - plate. Such constant cyclic pressure fluctuations negatively affect the operational characteristics of the equipment, in particular, lead to premature wear of the working tool and breakage of parts of hydraulic systems. Analytical studies were also conducted. On the basis of analytical researches the calculation of size of "jumps" of pressure in hydraulic systems of presses is executed, and also the factors influencing size of overloads are revealed. It is established that one of the main factors influencing the amount of overload is the rigidity of the system. Mathematical dependences between the modulus of elasticity of metal elements of the hydraulic system, their geometrical parameters and the value of pressure drop are obtained. Exhaustive recommendations are given to improve the design of presses, which create conditions for reducing overloads in their hydraulic systems during the process of cutting parts. It is established that to reduce overloads during felling in hydraulic systems of presses it is necessary to add elastic elements - tanks with an air cushion or the spring-loaded piston (accumulators), short sections of pipelines with elastic walls which will provide possibility of their temporary elastic diametrical deformation. A method for calculating the amount of pressure injection in the hydraulic systems of standard presses on the example of the press "PVG 8-2-0" is proposed. The obtained research results can be useful and used in the relevant design offices of machine-building enterprises at the design stage of this equipment.

Key words: cutting press, cutter, shoe parts, hydraulic system, pressure charges.

Постановка проблеми у загальному вигляді**та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

На сьогоднішній день на підприємствах різних галузей промисловості широко використовуються вирубні преси, які, в цілому, зарекомендували себе хорошими експлуатаційними властивостями. Зокрема,

вирубні преси застосовуються на взуттєвих підприємствах легкої промисловості для вирубни деталей верху взуття та підощ [1], на фурнітурних підприємствах – для формоутворення заготовок полімерних гудзиків [2], окремих типів деталей замка «блискавка» та інших дрібних фурнітурних деталей.

Однак, більшості типів вирубних пресів мають один спільний недолік [3] – у процесі їх експлуатації досить часто виходять з ладу саме корпуси насосів, порушується герметичність патрубків гідравлічних магістралей, може відбуватися значне підвищення температури мастила у гідравлічній системі. Для одного пресу характерне виникнення таких поломок приблизно один-два рази упродовж трьох місяців експлуатації.

Аналіз досліджень та публікацій

У роботах [4, 5] описуються методи обробки полімерних деталей, а також деталей взуття із використанням гідравлічних вирубних пресів. У роботі [3] зазначається деякі систематичні поломки, які виникають під час експлуатації пресів для вирубни деталей верху взуття та деякі ймовірні причини їх виникнення. У роботі [6] зазначається про можливі порушення герметичності патрубків гідравлічних магістралей, вказуються декілька можливих шляхів зниження перевантажень вирубних пресів, що виникають одразу по завершенню процесу вирубни.

Виділення невирішених частин

Таким чином, у розглянутих вище роботах констатується, що у переважній більшості пресів типу ПВГ 8-2-0, ПВГ 8 та інших подібним їм конструкціям відбуваються систематичні експлуатаційні відмови. Зокрема, досить часто виходять з ладу корпуси насосів та порушується герметичність патрубків гідравлічних магістралей. Однак, причини виникнення таких поломок достеменно невідомі. Таким чином, постає актуальною задача щодо раціонального встановлення причин, що призводять до виникнення експлуатаційних проблем у гідравлічних системах пресів. Все це потребує проведення подальших аналітичних та експериментальних досліджень.

Формулювання цілей

Суть даної роботи полягає у встановленні причин, які призводять до виникнення відповідних експлуатаційних проблем у гідравлічних системах пресів для вирубни деталей легкої промисловості з метою подальшого їх усунення.

Виклад основного матеріалу

Експериментальні дослідження причин перевантажень у гідравлічних системах типових пресів для вирубни деталей легкої промисловості.

З метою виявлення зазначених у вступі причин виходу з ладу відповідних гідравлічних елементів типових вирубних пресів проводили експериментальні дослідження на пресах ПВГ 8-2-0 та ПВГ 8, які призначені для вирубни деталей верху взуття.

У ході проведення експериментальних досліджень, у нагнітаючий трубопровід гідравлічних систем пресів ПВГ 8-2-0 та ПВГ 8 були встановлені попередньо відкалібровані тензорезисторні датчики, клеми яких під'єднувалися до цифрового двоканального USB-осцилографа ВМ-8020, котрий був підключений до електронної обчислюваної машини.

Таким чином, були отримані осцилограми тиску мастила у нагнітаючій магістралі гідросистеми пресів під час виконання технологічних процесів вирубни деталей верху взуття. Запис зміни тиску виконували при вирубці на металевій плиті гумових деталей взуття (прес ПВГ 8-2-0, рис. 1), картонних деталей (прес ПВГ 8, рис. 2), а також при вирубці на дерев'яній колоді картонних деталей (прес ПВГ 8, рис. 3 та рис. 4). Характер зміни тиску при повороті ударника у пресі ПВГ 8-2-0 не реєструвався.

Відстань між двома сусідніми вертикальними лініями осцилограм складає 0,02 с (рис. 1) та 0,008 с (рис. 2 – рис. 4).

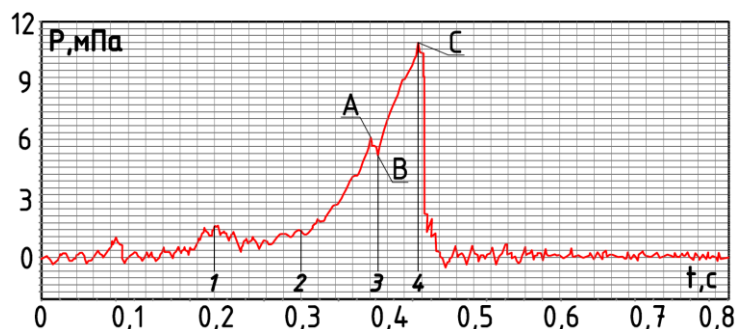


Рис. 1. Осцилограма тиску мастила у нагнітаючій магістралі гідросистеми пресу ПВГ 8-2-0 при виконанні вирубни на металевій плиті гумових деталей взуття

На осцилограмі, яка представлена на рис. 1 можна виділити такі ділянки:
1 – 2 – рух ударника вниз на холостому ході.

2 – 3 – стискання та подальша вирубка матеріалу. Під час вирубки матеріалу тиск у гідросистемі пресу зростає пропорційно технологічному зусиллю, яке досягло максимального значення у точці *A*, після чого, у точці *B*, де закінчувався процес прорубування матеріалу, тиск падав на незначну величину. Отримані дані підтверджують точку зору авторів роботи [7] про те, що зусилля у гідросистемі інтенсивно зростає при зануренні різача на глибину, яка рівна приблизно 0,85 – 0,97% товщини матеріалу.

3 – 4 – різке збільшення тиску, максимальне значення якого майже у два рази перевищує робочий тиск. Таке збільшення тиску пояснюється тим, що у кінці процесу вирубки утворюється жорстка система ударник – різак – плита. У результаті, за час поки спрацює електроапаратура та перемикаються золотники, насос продовжує подавати мастило у систему, що призводить до виникнення деформації гідравлічної системи, стиску мастила та, як результат, – різкого підвищення тиску. При цьому, конструкція пресу зазнає значного перевантаження. У точці *C* гідравлічна система пресу з'єднується зі зливом.

Такий само характер має осцилограма тиску, яка отримана під час вирубки деталей взуття на пресі ПВГ 8. На осцилограмі, яка представлена на рис. 2, ділянка 1 – 2 характеризує процес стиску та вирубку матеріалу (у точці *A* тиск досягає максимальної величини вирубки, а у точці *B* процес вирубки закінчується); ділянка 2 – 3 відповідає різкому підвищенню тиску, як на ділянці 3 – 4 (рис. 1). У точці *C* гідравлічна система пресу з'єднується зі зливом. Аналогічна ситуація спостерігалася і при дослідженні пресу ПВГ-18 [3].

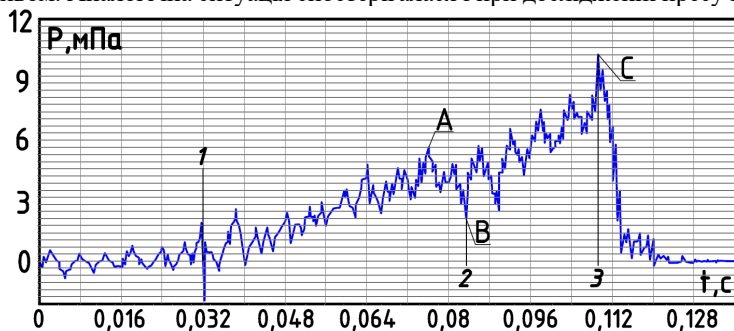


Рис. 2. Осцилограма тиску мастила у нагнітаючій магістралі гідросистеми пресу прес ПВГ 8 при виконанні вирубку на металевій плиті картонних деталей

У пресі з металевою плитою спрацювання електроапаратури відбувається після замикання електричного після дотикання різача до плити. Згідно отриманих осцилограм, час спрацювання електроапаратури та золотника, тобто, час зростання тиску після закінчення прорубування матеріалу, при роботі на металевій плиті склав 0,03 – 0,04 с. При роботі на неметалевій плиті цей час залежить від регулювання технологічного контакту: чим вище розташування контакту (при умові повного прорубування деталей), тим менше час на підвищення тиску. Згідно результатів експериментального дослідження, цей час склав 0,02 – 0,06 с.

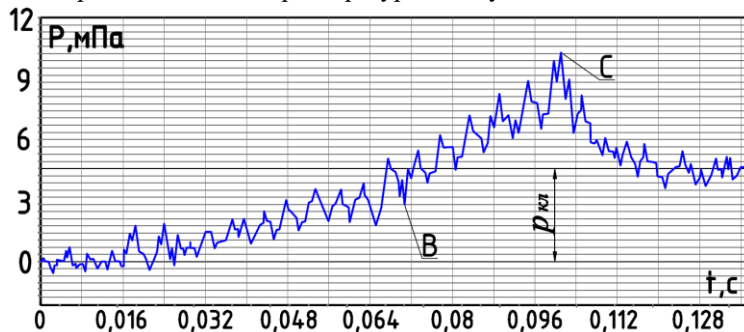


Рис. 3. Осцилограма тиску мастила у нагнітаючій магістралі гідросистеми пресу прес ПВГ 8 при виконанні вирубку на дерев'яній колоді картонних деталей

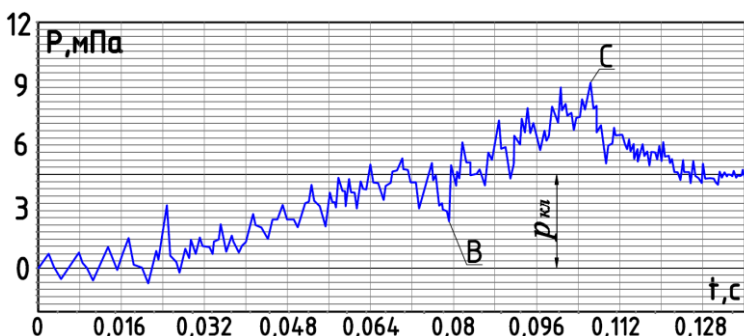


Рис. 4. Осцилограма тиску мастила у нагнітаючій магістралі гідросистеми пресу прес ПВГ 8 при виконанні вирубку на дерев'яній колоді картонних деталей

З метою дослідження роботи запобіжного клапану під час перевантаження пресу отримані осцилограми тиску при вимкненому технологічному контакті (рис. 3 та рис. 4). У такому випадку після прорубування матеріалу сигнал на вимкнення електромагніту золотника керування не надходить і тиск у системі зростає до величини, яка відповідає величині відкриття клапану (точка *C* на рис. 3 та рис. 4). Після відкриття запобіжного клапану мастило, що подається насосом, надходило на злив, а тиск у системі залишався постійним та рівним величині відрегульованої пружини клапану $p_{кл}$.

Із представлених осцилограм видно, що тиск регулювання клапану або перевищував максимальний тиск вирубку (рис. 3) або дорівнював йому (рис. 4). Час, що відповідав ділянкам *B* – *C*, можна вважати часом спрацювання запобіжного клапану (для клапану типу Г 52-10 він склав 0,03 с).

Таким чином, внаслідок запізнення у спрацюванні електричної та гідравлічної апаратури вирубка кожної деталі у кінці технологічного процесу супроводжується значним підвищенням тиску у гідросистемах пресів, що викликає їх перевантаження та призводить до передчасного зносу ріжучого інструменту та вирубних плит, поламак деталей гідросистем, перевитрат споживаної потужності та нагріву мастила.

Окрім того, такі особливості у роботі пресів здатні призвести до нераціональних значних енергозатрат. Так, наприклад, при двозмінній роботі 100 пресів типу ПВГ 8-2-0 на закиди тиску (рис. 1 – рис. 4, ділянки В – С) витрачатиметься близько 25250 кВт*год електроенергії у рік. Саме тому питання щодо усунення причин, які призводять до виникнення відповідних експлуатаційних проблем є досить актуальним.

Розрахунок величини «стрибків» тиску у гідравлічних системах типових пресів для вирубки деталей легкої промисловості

При виконанні експериментальних досліджень було встановлено, що у пресах для вирубки деталей верху взуття після закінчення розрубубання матеріалу гідросистема перемикається на злив не миттєво, а з деяким запізненням на величину $\Delta t = 0,03 - 0,04$ с. За цей час жорстка система ударник – різак – плита знаходиться у замкненому стані (рис. 5) і, так як насос 13 продовжує подачу мастила у гідравлічну систему, в результаті відбувається пружна деформація силового циліндру 5, циліндру повороту 4, трубопроводів 2, 3, 7, 10, 12, штоку 6, ударника 8, столу 9 та стиск робочої рідини. Внаслідок цього тиск значно підвищується. Дослідження показали, що перевищення тиску над максимальним тиском вирубки (закид тиску Δp) досягає в середньому 5,8 мПа.

Закиди тиску, що супроводжують кожен цикл вирубки, призводять до перевантаження гідросистеми пресів, виходу з ладу окремих деталей гідроприводу, швидкому зносу ріжучого інструменту та вирубних плит, нераціональних енергозатрат та нагріву мастила.

У даному параграфі пропонується методика розрахунку величини закиду тиску у гідросистемах типових пресів на прикладі пресу ПВГ 8-2-0, гідрокінематична схема якого представлена на рис. 5. Знаючи продуктивність насосу Q , час спрацювання комутуючої та керуючої апаратури, розрахуємо наступним чином:

$$\Delta V = Q \Delta t \eta, \quad (1)$$

де ΔV – кількість рідини, яка подається у систему за період перевантаження Δt , упродовж якого система знаходиться у замкненому стані; η – об'ємний коефіцієнт корисної дії гідросистеми, що враховує витік рідини у насосі, розподільниках, циліндрах тощо.

Кількість рідини, яку подає насос у систему за проміжок часу Δt , має поглинатися якимось відповідним об'ємом. Такий об'єм утворюється за рахунок пружної деформації металевих елементів системи пресу та за рахунок стиску самої рідини. Тому ΔV можна визначити як суму елементарних приростів об'ємів:

$$\Delta V = \Delta V_{СЦР} + \Delta V_{СЦО} + \Delta V_{ПЦР} + \Delta V_{ПЦО} + \Delta V_{ТРР} + \Delta V_{ТРО} + \Delta V_{Ш} + \Delta V_{ЗУ} + \Delta V_{ЗС} + \Delta V_{Р}, \quad (2)$$

де $\Delta V_{СЦР}$ та $\Delta V_{СЦО}$, $\Delta V_{ПЦР}$ та $\Delta V_{ПЦО}$, $\Delta V_{ТРР}$ та $\Delta V_{ТРО}$ – приріст об'ємів від радіальної та осьової деформації силового циліндру, циліндру повороту та трубопроводів відповідно; $\Delta V_{Ш}$, $\Delta V_{ЗУ}$, $\Delta V_{ЗС}$ – приріст об'ємів від розтягу штоку, згину ударника та прогину столу відповідно; $\Delta V_{Р}$ – приріст об'єму, отриманого в результаті стиску рідини.

У свою чергу приріст об'єму від деформації кожного елемента системи можна представити у вигляді:

$$\Delta V_{СЦР} = \Delta p \frac{\pi D_{Ц1}^3 L_{Ц1}}{4E \delta_{Ц1}} = \frac{\Delta p}{E} C_1; \quad (3)$$

$$\Delta V_{СЦО} = \Delta p \frac{\pi^2 (D_{Ц1}^2 - D_{Ш}^2)^2}{16E} \left(\frac{L_{Ц1}}{f_{Ц1}} + \frac{L_{Ц2}}{f_{Ц2}} \right) = \frac{\Delta p}{E} C_2; \quad (4)$$

$$\Delta V_{ПЦР} = \Delta p \frac{\pi D_{Ц3}^3 L_{Ц3}}{4E \delta_{Ц3}} = \frac{\Delta p}{E} C_3; \quad (5)$$

$$\Delta V_{ПЦО} = \Delta p \frac{\pi^2 D_{Ц3}^4 L_{Ц3}}{16E f_{Ц3}} = \frac{\Delta p}{E} C_4; \quad (6)$$

$$\Delta V_{ТРР} = \sum_{i=1}^n \Delta V_{ТРРi} = \frac{\Delta p}{E} \sum_{i=1}^n \frac{\pi D_{ТРi}^3 L_{ТРi}}{4 \delta_{ТРi}} = \frac{\Delta p}{E} C_5; \quad (7)$$

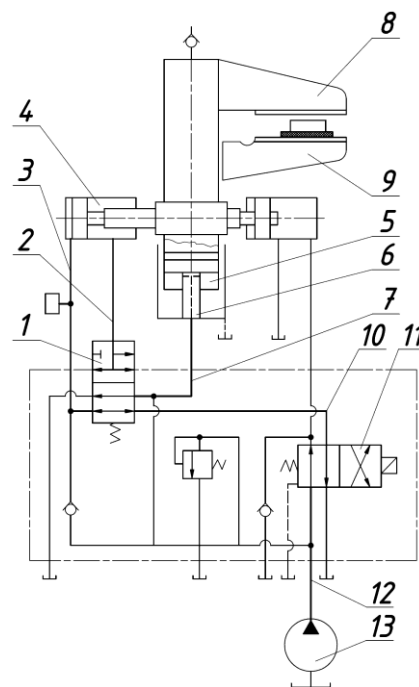


Рис. 5. Гідрокінематична схема пресу ПВГ 8-2-0

$$\Delta V_{TPO} = \sum_{i=1}^n \Delta V_{TPOi} = \frac{\Delta p}{E} \sum_{i=1}^n \frac{\pi^2 D_{TPi}^4 L_{TPi}}{16 f_{TPi}} = \frac{\Delta p}{E} C_6; \quad (8)$$

$$\Delta V_{Ш} = \Delta p \frac{\pi^2 (D_{Ц1}^2 - D_{Ш}^2)^2 L_{Ш}}{16 E f_{Ш}} = \frac{\Delta p}{E} C_7; \quad (9)$$

$$\Delta V_{3Y} = \Delta p \frac{\pi^2 (D_{Ц1}^2 - D_{Ш}^2)^2 L_Y^3}{3 E I_{XY}} = \frac{\Delta p}{E} C_8; \quad (10)$$

$$\Delta V_{3C} = \Delta p \frac{\pi^2 (D_{Ц1}^2 - D_{Ш}^2)^2 L_C^3}{192 E I_{XC}} = \frac{\Delta p}{E} C_9; \quad (11)$$

Об'єм ΔV_P , що звільняється рідиною системи в результаті її стискання, визначається наступним чином:

$$\Delta V_P = \frac{\Delta p}{E_P} V_P, \quad (12)$$

де Δp – величина, на яку підвищується тиск у момент перевантаження; $D_{Ц1}$ – внутрішній діаметр силового циліндру; $L_{Ц1}$ – довжина ділянки скалки, в якій розташований силовий циліндр; $\delta_{Ц1}$ – товщина стінки силового циліндру; $D_{Ш}$ – діаметр штоку у силовому циліндрі; $L_{Ц2}$ – довжина ділянки скалки, яка заповнена стисненим повітрям; $f_{Ц1}$ – площа поперечного перерізу скалки у місці розташування силового циліндру; $f_{Ц2}$ – площа поперечного перерізу скалки у зоні, заповненій стисненим повітрям; $D_{Ц3}$ – внутрішній діаметр циліндру повороту; $L_{Ц3}$ – довжина циліндру повороту; $\delta_{Ц3}$ – товщина стінки циліндру повороту; $f_{Ц3}$ – площа поперечного перерізу циліндру повороту; ΔV_{TPi} – приріст об'єму від радіальної деформації i -го трубопроводу; ΔV_{TPOi} – приріст об'єму від осової деформації i -го трубопроводу; D_{TPi} – внутрішній діаметр i -го трубопроводу; L_{TPi} – довжина i -го трубопроводу; δ_{TPi} – товщина стінки i -го трубопроводу; f_{TPi} – площа поперечного перерізу i -го трубопроводу; $L_{Ш}$ – довжина штоку; $f_{Ш}$ – площа поперечного перерізу штоку; L_Y – довжина ударника; I_{XY} – момент інерції поперечного перерізу ударника; L_C – довжина столу; I_{XC} – момент інерції поперечного перерізу столу; E_P – об'ємний модуль пружності рідини; E – модуль пружності сталі; $C_1, C_2, C_3, \dots, C_9$ – коефіцієнт, який визначає геометричні параметри відповідних пристроїв; V_P – об'єм рідини, яка знаходиться у системі в момент вирубки. При цьому, первинним приростом об'єму від деформації системи тиском вирубки нехтуємо.

Оскільки корпуси розподільників 11 та 1 масивні, а приріст об'єму від їх деформації незначний, то у даному прикладі ними нехтуємо.

Підставивши рівняння (3) – (12) у рівняння (2) та прирівнявши праві частини рівняння та виразу (1), отримаємо:

$$Q \Delta t \eta = \frac{\Delta p}{E} \sum_{i=1}^9 C_i + \frac{\Delta p}{E_P} V_P, \quad (13)$$

звідки

$$\Delta p = \frac{Q \Delta t \eta}{\sum_{i=1}^9 \frac{C_i}{E} + \frac{V_P}{E_P}}. \quad (14)$$

Задавшись допустимим значенням Δp , можна визначити необхідний час спрацювання електро- та гідроапаратури:

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{Q \eta} \left(\sum_{i=1}^9 \frac{C_i}{E} + \frac{V_P}{E_P} \right). \quad (2.15)$$

Проаналізувавши вираз (14), можна стверджувати, що одним із основних факторів, який впливає на величину перевантаження, являється жорсткість системи. Інакше кажучи, закид тиску прямо пропорційний модулю пружності матеріалу із якого виготовлена гідросистема, об'ємному модулю пружності рідини, товщинам стінок трубопроводів, циліндрів та обернено пропорційна величинам внутрішніх діаметрів трубопроводів, циліндрів до їх довжин. Відповідно, чим більший модуль пружності, товстіші стінки трубопроводів та чим менше їх довжина та внутрішній діаметр, тим вище жорсткість системи та більша величина закиду тиску Δp . Для зниження перевантажень у гідросистему необхідно вводить пружні ланки, які здатні зменшити жорсткість системи, а відповідно й її перевантаження.

Для попередження або зменшення перевантажень можуть застосовуватися компенсатори, у якості яких можна використовувати короткі ділянки розширеного трубопроводу, циліндри з повітряною подушкою або підпружиненим поршнем, трубопроводи з еластичними стінками та інші пристрої.

Для підтвердження викладеної методики розрахуємо величини закиду тиску Δp у пресі ПВГ 8-2-0. При цьому, задавалися такими вихідними даними: $D_{Ц1} = 0,13$ м, $L_{Ц1} = 0,2$ м, $\delta_{Ц1} = 0,01$ м, $D_{Ш} = 0,06$ м, $L_{Ц2} = 0,6$ м, $D_{Ц3} = 0,08$ м, $L_{Ц3} = 0,15$ м, $\delta_{Ц3} = 0,008$ м, $L_C = 0,5$ м, $f_{Ц1} = 6,8 \cdot 10^{-3}$ м², $f_{Ц2} = 9,8 \cdot 10^{-3}$ м², $f_{Ц3} = 2,06 \cdot 10^{-3}$ м², $L_Y = 0,68$ м, $L_{Ш} = 0,27$ м, $f_{Ш} = 2 \cdot 10^{-3}$ м², $I_{XY} = 3 \cdot 10^{-4}$ м⁴, $I_{XC} = 7 \cdot 10^{-5}$ м⁴, $D_{TP9} = 0,026$ м, L_{TP9}

$= 0,1 \text{ м}, \delta_{TP9} = 0,004 \text{ м}, D_{TP10} = 0,02 \text{ м}, L_{TP10} = 0,5 \text{ м}, \delta_{TP10} = 0,003 \text{ м}, D_{TP11} = 0,02 \text{ м}, L_{TP11} = 0,15 \text{ м}, \delta_{TP11} = 0,004 \text{ м}, D_{TP12} = 0,008 \text{ м}, L_{TP12} = 0,52 \text{ м}, \delta_{TP12} = 0,001 \text{ м}, D_{TP13} = 0,025 \text{ м}, L_{TP13} = 0,032 \text{ м}, \delta_{TP13} = 0,003 \text{ м}, f_{TP9} = 37,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, f_{TP10} = 21,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, f_{TP11} = 30,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, f_{TP12} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, f_{TP13} = 33,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, E = 1,96 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2, E_p = 0,0143 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2, V_p = 12,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3, Q = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}, \eta = 0,6.$

Час $\Delta t = 0,04 \text{ с}$, упродовж якого система пресу знаходилася у замкненому стані, зафіксовано із осцилограми, яка представлена на рис. Підставивши вихідні дані у рівняння (2.3) – (2.12), а потім у вираз (2.14), отримаємо значення Δp . Згідно розрахунку $\Delta p = 6,3 \text{ МПа}$, що відповідає результатам експериментальних досліджень, які представлено у першій частині статті.

Таким чином, для зниження перевантажень під час вирубки у гідравлічні системи пресів необхідно додавати пружні елементи – ємкості з повітряною подушкою або підпружиненим поршнем (акумулятори), короткі ділянки трубопроводів з еластичними стінками, що будуть забезпечувати можливість їх тимчасової пружної діаметральної деформації.

1. Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

2. Проведені експериментальні дослідження причин перевантажень у гідравлічних системах типових пресів для вирубки деталей легкої промисловості.

3. Встановлено, що внаслідок запізнення у спрацюванні електричної та гідравлічної апаратури вирубка кожної деталі у кінці технологічного процесу супроводжується утворенням жорсткої системи ударник – різак – плита, що призводить до значного підвищення тиску у гідросистемах пресів та викликає їх перевантаження, призводить до передчасного зносу робочих інструментів пресу, поламак деталей гідросистем.

4. На основі аналітичних досліджень, встановлено, що одним із основних факторів, який впливає на величину перевантаження, являється жорсткість системи.

5. Встановлено взаємозв'язок між модулем пружності металевих елементів гідросистеми, їх геометричними параметрами та величиною закиду тиску.

6. Запропоновано методику розрахунку величини закиду тиску у гідросистемах типових пресів на прикладі пресу ПВГ 8-2-0. Наведено рекомендації, щодо зміни конструкцій пресів, дотримуючись яких, можна досягнути зменшення перевантажень у гідросистемах.

Література

1. 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.

2. 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.

3. Баканов Н.И. Снижение перегрузок гидравлического вырубного пресса, возникающих после вырубания / Н.И. Баканов, В.А. Пудов, Д.Р. Амирханов, Г.А. Пискорский // Изв. вузов. Технол. легкой промышленности. – 1972. – №5. – С. 148 – 151.

4. Копин В.А. Обработка изделий из пластмасс / В.А. Копин, В.Л. Макаров, А.М. Ростовцев – М.: Химия, 1988. – 176 с.

5. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с.

6. Капустин И.И. Резание и режущий инструмент в кожевенно-обувной промышленности. М., Гизлегпром, 1950. – 172 С.

7. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ: Учебное пособие для рабочего образования. М.: Химия, 1987. – 176 с.

References

1. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereynii promyslovosti: monohrafiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.

2. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24 – 32.

3. Bakanov N.I. Snizhenie peregruzok gidravlicheskogo vyirubnogo pressa, voznikayuschih posle vyirubaniya / N.I. Bakanov, V.A. Pudov, D.R. Amirhanov, G.A. Piskorskiy // Izv. vuzov. Tehnol. legkoy prom-sti. – 1972. – #5. – S. 148 – 151.

4. Kopin V.A., Makarov V.L., Rostovtsev A.M. Obrabotka izdeliy iz plastmass. – M.: Himiya, 1988. – 176 s.

5. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev – K.: Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.

6. Kapustin I.I. Rezanie i rezhuschiy instrument v kozhevenno-obuvnoy promyishlennosti. M., Gizlegprom, 1950. – 172 S.

7. Shvarts A.I. Mehanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva formovyih RTI: Uchebnoe posobie dlya rabocheho obrazovaniya. M.: Himiya, 1987. – 176 s.

СТЕПЧИН Я. А.

ORCID ID: 0000-0001-8912-8446

e-mail: tmkts_syaa@ztu.edu.ua

ОТАМАНСЬКИЙ В. В.

ORCID ID: 0000-0002-5654-9049

e-mail: mvsv_ovv@ztu.edu.ua

МАЛИШЕВ І. П.

e-mail: yukiterugun@gmail.com

Державний університет «Житомирська політехніка»

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИСОКОШВИДКІСНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛАХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ВРАХУВАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ НЕЛІНІЙНОСТІ

Продуктивність та точність обробки деталей машин часто залежить від динамічних процесів, що виникають під час роботи верстата та здійснення процесу різання. Зростання вимог до інтенсифікації процесів обробки та якості виготовлення деталей машин призводить до необхідності оцінки та врахування усіх можливостей технологічної оброблювальної системи (ТОС) для забезпечення усталеності процесу обробки різання та підвищення її швидкодії. Однією з особливостей виникнення та існування автоколивальних процесів, найменш вивченими та небезпечними за впливом на усталеність ТОС, є нелінійність параметрів пружної системи верстата та процесів, що відбуваються при різанні. Тому для оцінки умов здійснення різання з усталеною обмеженою амплітудою коливань необхідний аналіз та врахування основних нелінійностей динаміки ТОС.

У статті виконано розгляд динамічних процесів у високошвидкісних обробних системах на прикладі високоточних шпиндельних вузлів, з аналізом і подальшим врахуванням різних видів їх не лінійності.

Для випадку високошвидкісної обробки шпиндельний вузол верстата наближається за умовами своєї роботи до схеми роботи роторної системи, в якій автоколивання можуть обумовлюватися дією неконсервативних сил циркуляційного типу, не пов'язаними з зовнішніми періодичними навантаженнями або будь-якими резонансними співвідношеннями: силами внутрішнього тертя, аеродинамічними та гідродинамічними силами в підшипниках ковзання та ущільненнях, електродинамічними та електромагнітними силами у електричних складових моторшпинделів.

Показано, що у випадку коли нелінійність пов'язана тільки з силами внутрішнього та зовнішнього тертя і коефіцієнти сил тертя не залежать від частоти, амплітуда і частота автоколивань (на відміну від лінійної системи) буде залежати тільки від співвідношення сил тертя.

Ключові слова: ТОС; автоколивальний процес; циркуляційні сили; високошвидкісний шпиндельний вузол; нелінійні сили тертя.

YAROSLAV STEPCHYN, VALENTYN OTAMANSKYI, ILLIA MALYSHEV
Zhytomyr Polytechnic State University

DYNAMIC PROCESSES ANALYSIS IN HIGH-SPEED SPINDLE ASSEMBLIES OF MACHINES TOOL WITH ACCOUNT DIFFERENT TYPES NONLINEARITY

The productivity and accuracy machine parts often depend on the dynamic processes during machine and cutting operation. The increase requirements for machining operation and quality machine parts leads to the need to evaluate and take into account all the capabilities of the technological processing system (TS) to ensure the stability of the cutting process and increase speed. One of the features emergence and existence of self-oscillating processes, the least studied and dangerous in terms of the effect on sustainability TS is the nonlinearity parameters elastic system of the machine tool and the processes occurring during cutting operation. Therefore, to assess the conditions for implementation of the cutting process with a steady limited amplitude of oscillations, it is necessary to analyze and take into account the main nonlinearities dynamics of the TS.

The article considers dynamic processes in high-speed processing systems on the example of high-precision spindle assemblies, with analysis and following review of their different types nonlinearity.

The machine tool spindle unit for the case of high-speed processing according to the working conditions approaches the scheme of the rotor system which self-oscillations can be caused by the action of non-conservative circulation-type forces that are not associated with external periodic loads or any resonant relationships: internal friction forces, hydrodynamic forces in sliding bearings and seals, electrodynamic and electromagnetic forces in the electrical components of motor-spindles.

It is shown that if the nonlinearity is associated only with internal external friction and coefficients of friction forces do not depend on frequency, the amplitude and frequency of self-oscillations (unlike linear system) will depend only on relationship of friction forces.

Keywords: TS; self-oscillating process; circulating forces; high-speed spindle assembly; nonlinear friction forces.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Точність обробки деталей машин та, часто, її продуктивність залежить від значної групи факторів, велике значення з яких мають динамічні процеси, що виникають під час роботи верстата та здійснення процесу різання. Зростання вимог до інтенсифікації процесів обробки та якості оброблених поверхонь деталей машин призводить до необхідності оцінки та врахування усіх можливостей ТОС для забезпечення усталеності процесу обробки різання та підвищення її швидкодії.

З усіх видів коливань, що виникають у ТОС [1-3, 9] і впливають на кількісні та якісні параметри

процесів обробки різанням, найменш вивченими, з точки зору визначення причин їх виникнення та суттєво небезпечними за впливом на усталеність ТОС є автоколивання.

При розгляді динаміки ТОС, для спрощення математичного опису процесів, найчастіше використовують лінійні моделі з однією або декількома ступенями вільності. Проте однією з особливостей виникнення та існування автоколивальних процесів є саме нелінійність параметрів пружної системи верстата та процесів, що відбуваються при різанні [1, 2, 4]. Відповідно, лінійні диференціальні рівняння опису поведінки обробної системи [1, 3, 10, 11] не можуть бути основою для визначення умов виникнення та рівнів існування автоколивальних процесів у ТОС. Для оцінки умов здійснення різання з усталеною обмеженою амплітудою коливань (усіх видів), при якому забезпечується встановлена якість та максимально можлива продуктивність обробки необхідний аналіз та врахування основних нелінійностей динаміки ТОС.

Використання процесів високошвидкісної обробки для підвищення продуктивності процесів виготовлення деталей машин вимагає суттєвих змін у конструкції найбільш відповідальних вузлів металорізальних верстатів та точної оцінки динамічної стабільності роботи ТОС в умовах комплексного впливу цілої низки зовнішніх та внутрішніх чинників.

Таким чином, питання аналізу динамічних процесів у високошвидкісних обробних системах загалом і окремих її елементах – високоточних шпиндельних вузлах, зокрема, з оцінкою і подальшим врахуванням різних видів їх нелінійності є важливою науковою проблемою і потребує докладного опрацювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомі нелінійності ТОС, що виникають під час обробки, пов'язані з особливостями самого процесу різання [3, 6, 11]:

Нелінійність характеристики процесу різання, яка викликається, зокрема при точінні, контактними процесами на задній поверхні різця внаслідок його коливань відносно заготовки. При цьому відбувається збільшення складових сил різання в залежності від величини геометричного заднього кута заточки інструмента.

1. Нелінійність характеристики сили різання, а саме залежності сили різання від швидкості (коливальна система має тільки один ступінь вільності).

2. Нелінійність, пов'язана з координатним зв'язком двох узагальнених координат коливальної системи.

3. Нелінійність, що обумовлена впливом на процес обробки хвилястості оброблюваної поверхні.

Також у [3] розглянуто умови виникнення допустимих автоколивань для нелінійної системи, що має два ступені вільності у нормальному і дотичному напрямках до поверхні різання.

Але менш дослідженим, з точки зору впливу на загальну усталеність процесу обробки, є власна нелінійність пружної системи верстата. Звичайно при моделюванні верстатів та процесів обробки вона не враховується [6, 7, 10, 14] для спрощення структури моделі та отримання більш однозначних висновків.

Окремі елементи врахування нелінійності опор валів (шпинделів, швидкісних роторів) розглянуто у [3, 6], більш ґрунтовно нелінійність властивостей механічних систем змодельована та досліджена для випадку розрахунку віброізоляції верстатів та гасителів вібрацій різного типу.

Також є наукові роботи, що розглядають нелінійності механічних систем, особливості їх моделювання та дослідження безвідносно до умов та режиму роботи [5, 8].

Проте важливим є визначення складової впливу нелінійності окремих конструкцій типових елементів вузлів верстатів на загальний відгук ТОС з врахуванням граничних умов процесу обробки.

Формулювання цілей статті

Виконати аналіз динамічних процесів у шпиндельних вузлах високошвидкісних верстатів, з оцінкою різних видів її нелінійності та її впливу на загальний відгук ТОС в умовах обробки, близьких до межі усталеності обробної системи.

Виклад основного матеріалу

При розгляді умов виникнення та підтримки автоколивань у ТОС під час обробки основним фактором впливу вважається дестабілізуючий вплив процесу різання або зовнішні періодичні навантаження, пов'язані з особливостями його здійснення [3, 6, 11]. Проте, для випадку високошвидкісної обробки шпиндельний вузол верстата наближається за умовами своєї роботи до схеми роботи роторної системи [6]. В цьому випадку автоколивання можуть обумовлюватися дією неконсервативних сил циркуляційного типу, не пов'язаними з зовнішніми періодичними навантаженнями або будь-якими резонансними співвідношеннями. До цього типу сил у шпиндельному вузлі високошвидкісного верстата можна віднести сили внутрішнього тертя, аеродинамічні та гідродинамічні сили в підшипниках ковзання та ущільненнях, електродинамічні та електромагнітні сили у електричних складових моторшпинделів.

Основною умовою виникнення циркуляційних сил є несиметричність матриці коефіцієнтів жорсткості, коли будь-яка складова неідеальної конструкції шпиндельного вузла – шпонкові або шліцьові пази, елементи підшипників кочення, конструкції вузла, несучільних по куту повороту складових електричних машин – призводить до виникнення вектора зміщення. Вектор циркуляційних сил завжди

розташований перпендикулярно до вектора зміщення, тому його дослідження можна виконати тільки в системах з двома і більше ступенями вільності [6]. Проте у класичних випадках розгляду поперечних коливань шпинделів верстатів і дослідженні автоколивальних процесів під час різання шпиндель зазвичай приводився до системи з одним ступенем вільності [2, 3, 7, 10], що виключало можливість їх врахування.

Щоб визначити вплив циркуляційних сил на усталеність і коливання шпинделя високошвидкісного верстата необхідно розглянути кілька варіантів їх виникнення.

1.1. Виникнення циркуляційних сил за рахунок сил внутрішнього тертя, як сил опору, що виникають в елементах системи, обумовлених неідеальною пружністю матеріалу або тертям між окремими деталями по контактуючим поверхням. Рівняння руху в нерухомих координатах з членами, що враховують вплив в'язкого внутрішнього та зовнішнього тертя, ваги масивного валу шпинделя та його неврівноваженості (або зовнішньої поперечної сили, що відтворює силу різання) матиме вигляд (в позначеннях, використаних у [6]):

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{u}_y + K_e \dot{u}_y + K_i (\dot{u}_y + \omega u_z) + cu_y &= me_\Sigma \omega^2 \cos \omega t \\ m\ddot{u}_z + K_e \dot{u}_z + K_i (\dot{u}_z - \omega u_y) + cu_z &= me_\Sigma \omega^2 \sin \omega t - Mg \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де \ddot{u}, \dot{u}, u – прискорення, швидкість та переміщення за кожною з осей координат відповідно, c – коефіцієнт жорсткості системи, K_i, K_e – коефіцієнти пропорційності, що враховують сили в'язкого внутрішнього та зовнішнього тертя відповідно, ω – частота обертання шпинделя, m – його маса, e_Σ – величина неврівноваженості (загальний ексцентриситет).

Ці формально не пов'язані рівняння описують два поступальні (поперечні) рухи коливальної системи – масивного жорсткого шпиндельного валу на пружних опорах з демпфуванням.

З аналізу системи (1) випливає, що сили внутрішнього тертя призводять до виникнення як сил демпфування так і циркуляційних сил. Крім того сили внутрішнього тертя не впливають на вимушені коливання від неврівноваженості, тому що при таких коливаннях разом з валом обертається його незмінна з часом вісь.

З аналізу однорідної частини системи рівнянь (1) можна отримати умову усталеності такої коливальної системи, якщо вважати, що коефіцієнти K_e та K_i не залежать від частоти коливань (коефіцієнти відносного розсіювання енергії ψ_e та ψ_i пропорційні частотам):

$$\omega < \omega_{sp.y} = \omega_0 \left(1 + \frac{K_e}{K_i} \right); \omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (2)$$

де $\omega_{sp.y}, \omega_0$ – кутова швидкість втрати усталеності та власна частота системи відповідно.

З рівняння (2) слідує, що втрата усталеності у розглянутій системі може відбутися тільки при швидкості обертання валу, що перевищує його власну частоту, а сили зовнішнього тертя обумовлюють зсув границі усталеності у бік вищих швидкостей. На межі усталеності частота виникаючих автоколивань співпадає з власною частотою ротора ω_0 , що характерно для автоколивань.

Більш загальну умову усталеності для ізотропної системи можна отримати для випадку довільної частотної залежності $\psi_e(\omega_0)$ та $\psi_i(\omega - \omega_0)$, якщо використати заміну:

$$K_e = \psi_e \frac{c}{2\pi\omega_0}; K_i = \psi_i \frac{c}{2\pi(\omega - \omega_0)}, \quad (3)$$

Тоді:

$$\psi_e(\omega_0) - \psi_i(\omega - \omega_0) > 0, \quad (4)$$

2.2. Виникнення циркуляційних сил в магнітному полі може бути представлено на прикладі ротора з електрообмоткою. У випадку центрального розташування ротора виникаюча сила Ампера у рухомій обмотці ротора викликає момент, що вносить доданок до загального моменту. Якщо ротор зміщено від центрального положення, крім загального моменту виникне результуюча сила, направлена перпендикулярно площині витка в бік відносного обертання поля. У випадку малих зміщень для усього ротора залежність для проєкцій сили матиме вигляд:

$$P_y = -bu_z; P_z = bu_y, \quad (5)$$

де b – коефіцієнт, що залежить від різниці кутових швидкостей $(\omega - \omega_m)$.

Формула (5) відповідає також силам, що виникають при дотиканні ротора та статора та присутності сил різання. Останній випадок більш докладно було розглянуто у роботах [3, 6, 11].

3. Вплив гіроскопічного ефекту на виникнення циркуляційних сил визначається, з рівнянь руху для випадку розгляду врівноваженого ізотропного ротора, що виконує тільки кутові переміщення (з врахуванням внутрішнього тертя):

$$\left. \begin{aligned} I\ddot{\varphi}_y + (K_i^\varphi + K_e^\varphi)\dot{\varphi}_y + I_0\omega\dot{\varphi}_z + \omega K_i^\varphi\varphi_z + c'\varphi_y &= 0 \\ I\ddot{\varphi}_z + (K_i^\varphi + K_e^\varphi)\dot{\varphi}_z - I_0\omega\dot{\varphi}_y - \omega K_i^\varphi\varphi_e + c'\varphi_z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де K_i^φ та K_e^φ – коефіцієнти демпфування при кутових переміщеннях (не навколо осі обертання валу).

Тоді умова усталеності системи та частота автоколивань ω_a на межі усталеності визначатимуться за формулами:

$$\omega < \omega_{zp.y} = \omega_a \left(1 + \frac{K_e^\varphi}{K_i^\varphi} \right); \quad \omega_a = \omega_0 \sqrt{\frac{1}{1 - (1 + \frac{K_e^\varphi}{K_i^\varphi}) \frac{I_0}{I}}}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{c'}{I}}. \quad (7)$$

З рівнянь (7) слідує, що гіроскопічний ефект підвищує усталеність системи, проте критична частота виникнення автоколивань ω_a вже не є постійною величиною, як в (2), а залежить від співвідношення між силами тертя.

Якщо врахувати умову, що в реальних системах сили зовнішнього тертя прикладені в опорах, то залежно від жорсткості опор і величини в'язкого тертя зростання опору в опорах збільшує усталеність до певного оптимального для системи рівня демпфування.

Розглянемо більш докладно виникнення автоколивального процесу у високошвидкісному шпіндельному вузлі для наведених в п.1 умов, коли нелінійність пов'язана тільки з силами внутрішнього та зовнішнього тертя і коефіцієнти сил тертя не залежать від частоти. В цьому випадку амплітуда і частота автоколивань (на відміну від лінійної системи) буде залежати від співвідношення сил зовнішнього та внутрішнього тертя. Для аналізу амплітудних залежностей можна скористатися даними, наведеними у [6], які отримані для випадку нелінійної залежності сил зовнішнього та внутрішнього тертя від парних степенів радіуса переміщень центру ваги валу. Можливі два варіанти найбільш ймовірних випадків результуючих залежностей, проілюстрованих на рис. 1:

1.1. Нелінійні складові сил зовнішнього тертя при всіх амплітудах більше складових внутрішнього тертя: $K_e > K_i$ (рис. 1, а).

2.2. Внутрішнє тертя при “малих” амплітудах більше зовнішнього: $K_i > K_e$, а при “великих” амплітудах – зовнішнє тертя більше внутрішнього: $K_i < K_e$ (рис. 1, б).

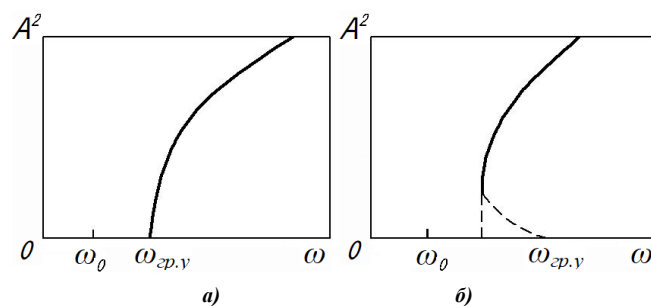


Рис. 1. Амплітудні залежності меж усталеності системи від поточної частоти обертання валу

Найбільш вигідним для уникнення тривалих наростаючих автоколивань є варіант 1 (рис. 1, а), коли при зростанні амплітуди коливань збільшується $\omega_{zp.y}$. Тобто при втраті усталеності і збільшенні амплітуди коливань, межа усталеності зміщується в область високих частот і автоколивання припиняються (або знижуються до певного, “допустимого” рівня).

Проте більш характерним для високошвидкісних точних шпіндельних вузлів є варіант 2 (рис. 1, б), коли в нормальних умовах роботи зовнішнє тертя невелике, а при зростанні амплітуди коливань можуть виникати перекося вала або елементів опор, що призводить до загального погіршення умов роботи та суттєвого зростання зовнішнього тертя. В цьому випадку гілка амплітудної кривої, показана штриховою лінією буде нестійкою і в даній системі можливе жорстке збурення автоколивань з швидким зростанням їх амплітуди.

Розглянутий випадок (рис. 1., б) загалом відповідає пелюстковій діаграмі усталеності, побудованій за умови врахування характеристики різання та лінійної моделі пружної системи верстата [12]. Особливо, якщо взяти до уваги додаткові уточнення, наведені у [13], які стосуються висновків щодо представлення нелінійної жорсткості системи у вигляді поліномів третього ступеню: за наявності нелінійності пелюсткові зони стійкості значно звужуються в залежності від жорсткості реальної обробної системи.

Також важливим для оцінки умов виникнення автоколивань у високошвидкісних шпиндельних вузлах є випадок, коли коефіцієнти сил тертя залежать від частоти. Рис. 2, а відтворює умови найбільш поширеного варіанту існування автоколивань у реальних верстатних системах, коли вони виникають на власній частоті системи та зберігаються на певному рівні. Наведена амплітудна залежність (1) відповідає умовам, коли нелінійними є тільки сили зовнішнього тертя, а від частоти залежить коефіцієнт лінійного внутрішнього тертя (відносний коефіцієнт дисипації $\psi = const$).

Крива 2 побудована з врахуванням додаткової умови неавтономності системи: впливу зовнішніх сил неврівноваженості, роль яких для шпиндельного вузла може відтворювати сила різання. Рис. 2, б ілюструє більш простий випадок амплітудних кривих меж усталеності, коли коефіцієнти сил тертя не залежать від частоти, але нелінійність у силах зовнішнього тертя присутня. Пряма 1 відповідає автономній системі без нелінійностей, 2 – враховує нелінійність сил зовнішнього тертя, 3 – нелінійність зовнішнього тертя та незалежність внутрішнього тертя від частоти та неврівноваженість системи.

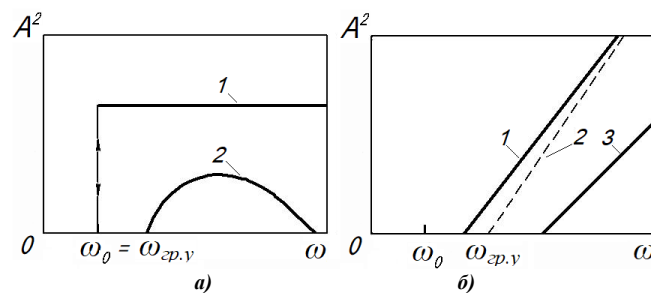


Рис. 2. Амплітудні залежності границі усталеності для випадку залежності коефіцієнтів сил тертя від частоти

З аналізу рівнянь (1), (2), (6), (7) і рис. 1 та 2 можна зробити загальний висновок: при наявності різних видів нелінійності (характерних для шпиндельних вузлів металорізальних верстатів) динамічних систем зовнішні навантаження в більшості випадків підвищують усталеність та знижують загальний рівень амплітуди автоколивань.

1. Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

2. Для випадку високошвидкісної обробки автоколивання у ТОС на основі металорізального верстата з обертальним головним рухом можуть обумовлюватися дією неконсервативних сил циркуляційного типу: силами внутрішнього тертя, аеродинамічними та гідродинамічними силами в підшипниках ковзання та ущільненнях, електродинамічними та електромагнітними силами у електричних складових моторшпинделів.

3. Характерним для високошвидкісних точних шпиндельних вузлів є варіант, коли в нормальних умовах роботи вузла зовнішнє тертя невелике, а при зростанні амплітуди коливань виникають перекоси вала або елементів опор і відбувається загальне погіршення умов роботи та суттєве зростання зовнішнього тертя. В цьому випадку в системі можливе жорстке збурення автоколивань з швидким зростанням їх амплітуди.

4. Гіроскопічний ефект підвищує усталеність системи, проте критична частота виникнення автоколивань не є постійною величиною, а залежить від співвідношення між силами тертя.

5. Зростання опору в опорах збільшує усталеність до певного оптимального для системи рівня демпфування.

6. При врахуванні різних видів нелінійності динамічних систем характерних для шпиндельних вузлів металорізальних верстатів зовнішні навантаження в більшості випадків підвищують усталеність та знижують загальний рівень амплітуди автоколивань.

Література

1. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов: Учеб. пособие для вузов. – М.: “Висшая школа”, 1974. – 587 с.
2. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
3. Орликов М.Л. Динамика станков / М.Л. Орликов. – К.: “Вища школа”, 1989. – 272 с.
4. Свинин В.М. Управление регенеративными автоколебаниями при фрезеровании на основе модуляции скорости резания. Автореферат дисертации на соискание научной степени доктора технических наук. – Иркутск. ИГТУ. 2008. – 26 с.

5. Пукач П. Я. Методи аналізу динамічних процесів у нелінійних неавтономних механічних системах різної структури. – Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2014. – 40 с.
6. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.
7. Струтинский В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів: Монографія. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 570 с.
8. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. /Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.) – М.: Машиностроение, 1979 – Т. 2. Колебания нелинейных механических систем /Под ред. И. И. Блехмана. 1979. – 351 с.
9. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь. Автореферат на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Київ. НТУУ «КПІ». 2002. – 26 с.
10. Струтинский В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: Підручник. / В.Б. Струтинский – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.
11. Кудинов В.А. Автокосебания на низких и высоких частотах (устойчивость движений) при резании / Кудинов В.А. // Станки и инструмент. – 1997. – № 2. – С 16–22.
12. Merritt H. E. Theory of Self-Excited Machine Tool Chatter. /ASME J. Eng. Indus., 1965, Vol. 87, pp. 447-454.
13. Hanna N.H, Tobias S.A. A Theory of Nonlinear Regenerative Chatter./ Trans, of ASME, 1974, Vol. 96, pp. 247-255.
14. Vyhovskiy H., Plysak M., Balytska N., Melnyk O., Hlembotska L. Engineering Methodology for Determining Elastic Displacements of the Joint «Spindle Assembly-Face Milling Cutter» While Machining Planes. In: Tonkonogiy V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2021. P. 258–268. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_26

References

1. Poduraev V.N. Rezanie trudnoobrabatyvaemykh materialov: Ucheb. posobie dlya vuzov. – М.: “Visshaya shkola”, 1974. – 587 s.
2. Zharkov I.G. Vibracii pri obrabotke lezviynym instrumentom / I.G. Zharkov – L.: Mashinostroenie, 1986. – 184 s.
3. Orlikov M.L. Dinamika stankov / M.L. Orlikov. – К.: “Visha shkola”, 1989. – 272 s.
4. Svinin V.M. Upravlenie regenerativnymi avtokolebaniyami pri frezerovanii na osnove modulyacii skorosti rezaniya. Avtoreferat disertacii na soiskanie nauchnoj stepeni doktora tehniceskikh nauk. – Irkutsk. IG TU. 2008. – 26 s.
5. Pukach P. Ya. Metody analizu dinamichnykh protsesiv u nelineinykh neavtonomnykh mekhanichnykh systemakh riznoi struktury. – Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovoho stupenia doktora tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.02.09 – dynamika ta mitsnist mashyn. – Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika», Lviv, 2014. – 40 s.
6. Vibracii v tehnikе: Spravochnik v 6-ti t. Tom 3. Kolebaniya mashin, konstrukcij i ih elementov. Pod red. F.M. Dimentberga i K.S. Kolesnikova. Red. совет: V.N. Chelomej (pred.). – М.: Mashinostroenie, 1980. – 544 s.
7. Strutytskyi V.B., Melnychuk P.P. Matematychnе modeliuвання metalorizalnykh verstativ: Monohrafiia. – Zhytomyr: ZhITI, 2002. – 570 s.
8. Vibracii v tehnikе: Spravochnik. V 6-ti t. /Red. совет: V. N. Chelomej (pred.) – М.: Mashinostroenie, 1979 – Т. 2. Kolebaniya nelinejnyh mehanicheskikh sistem /Pod red. I. I. Blehmana. 1979. – 351 s.
9. Melnychuk P.P. Naukovi osnovy chystovoho tortsevoho frezeruvannia ploskykh poverkhon. Avtoreferat na zdobuttia naukovoho stupenia doktora tekhnichnykh nauk. – Kyiv. NTUU “KPI”. 2002. – 26 s.
10. Strutytskyi V.B. Matematychnе modeliuвання protsesiv ta system mekhaniky: Pidruchnyk. / V.B. Strutytskyi – Zhytomyr: ZhITI, 2001. – 612 s.
11. Kudinov V.A. Avtokolebaniya na nizkih i vysokih chastotah (ustojchivost dvizhenij) pri rezanii / Kudinov V.A. // Stanki i instrument. – 1997. – № 2. – S 16–22.
12. Merritt H. E. Theory of Self-Excited Machine Tool Chatter. /ASME J. Eng. Indus., 1965, Vol. 87, pp. 447-454.
13. Hanna N.H, Tobias S.A. A Theory of Nonlinear Regenerative Chatter./ Trans, of ASME, 1974, Vol. 96, pp. 247-255.
14. Vyhovskiy H., Plysak M., Balytska N., Melnyk O., Hlembotska L. Engineering Methodology for Determining Elastic Displacements of the Joint «Spindle Assembly-Face Milling Cutter» While Machining Planes. In: Tonkonogiy V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2021. P. 258–268. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_26

Рецензія/Peer review : 17.01.2022 р.

Надрукована/Printed : 27.02.2022 р.

БУРЛАКА С. А.

ORCID ID:0000-0002-4079-4867

e-mail: ipserhiy@gmail.com

Вінницький національний аграрний університет

АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЗІ ЗМІШУВАЧЕМ ПАЛИВ

Представлено комутаційну схему функціонування машинно-тракторного агрегату з використанням системи живлення зі змішувачем палив та електронним блоком керування на базі Arduino Uno. Ця схема забезпечує повністю адаптивну систему живлення на біопаливі та його сумішах в залежності від навантажувально-швидкісних показників та режимів роботи. Проведено підбір компонентів схеми. Розроблено лінійний алгоритм для написання керуючої програми системою живлення двигуна, що забезпечує її енергетичну економічність та ефективність роботи машинно-тракторного агрегату.

Ключові слова: алгоритм, машинно-тракторний агрегат, система живлення, змішувач, біопаливо.

SERHIY BURLAKA

Vinnytsia National Agrarian University

ALGORITHM OF FUNCTIONING OF A MACHINE-TRACTOR UNIT USING A FUEL MIXER SUPPLY SYSTEM

The switching scheme of operation of the machine-tractor unit with the use of the power supply system with the fuel mixer and the electronic control unit on the basis of Arduino Uno is presented. This scheme provides a fully adaptive power supply system for biofuels and their mixtures depending on the load-speed indicators and operating modes. The selection of circuit components is carried out. A linear algorithm for writing a control program for the engine power system has been developed, which ensures its energy efficiency and efficiency of the machine-tractor unit.

During the operation of the machine-tractor unit there is a constant change of thermal, loading and speed modes. Internal combustion engines during operation usually operate in unstable modes - start, warm up, acceleration, braking, increase and decrease the load, stop. There is a need to develop a method of controlling the work processes of the diesel engine for its operation on a mixture of BF and PSU with electronic control of the fuel mixture depending on the operating modes.

Engines are dynamically asymmetrical objects, ie the processes that take place when increasing and decreasing the load on the crankshaft, when starting and stopping the engine, differ from each other.

The development of the algorithm for controlling the working processes of the diesel engine when working on a mixture of BF and PSU with electronic control of the fuel mixture depending on the operating modes of the engine will differ.

Technical parameters of the diesel engine and power supply system that must be controlled during operation: torque, crankshaft speed, power, coolant temperature, PSU temperature, percentage of fuel mixture. Fuel consumption refers to economic indicators, to environmental - the composition and amount of harmful emissions. The value of these indicators directly depends on the modes of operation.

Key words: algorithm, machine-tractor unit, power supply system, mixer, biofuel.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Процес роботи двигуна, що працює на БП, і його змішування з ДП прямо пропорційні. Теплота згоряння БП нижча, ніж ДП, а це означає, що енергія, що виробляється при повному згорянні БП, менша, ніж енергія, вироблена при такій самій кількості згоряння ДП [1,2].

Аналіз останніх досліджень

В роботі [3] запропоновано створити систему, яка працює автономно від двигуна внутрішнього згоряння і не залежить від людського фактора. Завданням системи є забезпечення найкращого складу паливної суміші відповідно до режиму роботи.

Формулювання цілей статті

Розробити схеми комутації та загальні алгоритми роботи системи живлення дизельних двигунів, які використовують біопаливо та їх суміші.

Виклад основного матеріалу

Для забезпечення ефективної роботи запропонованої системи електропостачання необхідно усунути людський фактор. Для цього можна використовувати версію системи на основі електронних компонентів з використанням електронних блоків управління. В якості електронного блоку управління рекомендується використовувати Arduino Uno (рис. 2), основні функції перераховані в табл. 1 [4].

Пристрій дозволяє підключити до 14 різних електронних датчиків, що дозволяє розширити функціональність системи живлення.

При використанні ДП БП для управління робочим процесом дизельного двигуна і його різними відсотками змішування, а також для електронного регулювання структури змішування палива відповідно до режиму роботи він повинен забезпечувати:

- Ефективність робочого процесу;

- Надійний запуск;
- Довгострокова експлуатація;
- Максимальне наближення між технічними і базовими показниками;
- Підвищення екологічних показників.



Рис. 1. Загальний вигляд плати Arduino Uno

Таблиця 1

Основні характеристики Arduino Uno

№	Назва	Характеристика
1	Мікроконтролер	ATmega328
2	Робоча напруга	5 В
3	Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
4	Напруга живлення (гранична)	6-20В
5	Цифрові входи / виходи	14 шт.
6	Аналогові входи	6 шт.

В удосконаленій системі живлення двигуна на процес роботи двигуна також впливає співвідношення змішування ДП і БП, тому є п'ять причин для його регулювання:

- Забезпечити найнижчу ефективну норму споживання палива;
- Забезпечити необхідні ефективні можливості;
- Забезпечте необхідне співвідношення змішаного палива
- Забезпечити ефективний перебіг робочих процесів;
- Максимальне використання блоку живлення.

За розробленою методикою управління робочими процесами дизеля реалізується таким чином [5]. Запуск двигуна проводиться на ДП. Пояснюється це значно вищою в'язкістю та густиною БП, що погіршують роботу системи живлення та показники згорання і розпилення палива, а головне високими температурами застигання та помутніння біопалива порівняно з дизельним.

Розпочинаючи роботу ЕБК дизельного двигуна отримує сигнали від датчиків і система живлення працює відповідно до алгоритму, відповідного штатній системі.

Ефективне протікання робочих процесів перед використанням БП у машинному агрегаті забезпечується завдяки підігріванню до встановленої температури, що призводить до зниження в'язкості та поверхневого натягу БП. Завдяки чому фізико-хімічні показники БП наближуються до властивостей ДП (штатна система живлення) [5]. Ще одна необхідна умова - прогрівання двигуна, оскільки в холодному двигуні погіршуються процеси випаровування та згорання палива, збільшується ймовірність потрапляння палива в мастило. У момент коли температура охолоджуючої рідини та БП досягають відповідних позначок, система живлення зі змішувачем переходить на роботу на суміші палив. При зниженні температури БП двигун знову переходить на роботу на ДП.

Після того як встановлена мінімальна ефективна циклова подача та склад суміші, відбувається аналіз потужності, крутного моменту та частоти обертів. При збільшенні показників - вміст БП в суміші збільшується [6] до тих пір, поки не буде отримано необхідне значення годинної витрати, або відсотковий вміст БП в суміші не стане рівним 100%. Нижча теплота згорання змінюється залежно від відсоткового вмісту суміші ДП та БП. Проте енергетична цінність заряду, що впорскується в циліндр двигуна, має залишитись незмінною за різного відсоткового співвідношення, компенсувати її можна за рахунок регулювання мінімальної ефективної циклової подачі сумішевого палива.

Підвищення циклової подачі можливе до 12,4% при якому сумішеве паливо різного відсоткового відношення забезпечить необхідну потужність, крутний момент та частоту обертів, що наближено рівна показникам роботи на ДП.

Під час дослідження в роботі приймаємо той факт, що всі робочі процеси протікають в допустимих межах на всіх режимах роботи [6].

На малих навантаженнях використання БП при роботі машинних агрегатів забезпечує необхідну потужність зі збереженням необхідних показників роботи двигуна. При збільшенні навантаження, для

підтримки всіх технічних показників машинно-тракторного агрегату потрібно збільшувати циклову подачу БП варіюючи склад суміші, прагнучи не виходити за межі мінімальних витрат.

Підвищення навантаження до максимального потребує збільшення вмісту ДП в суміші з подальшим переходом на 100%ДП для забезпечення необхідної кількості теплоти та збереження технічних показників дизеля.

Для його подальшого легкого запуску, під час зупинки двигуна, система живлення (паливні трубопроводи низького тиску після змішувача, змішувач, паливні трубопроводи високого тиску, ПНВТ, форсунки в системі живлення) заповнюються ДП. Суміш палив із системи живлення випацьовується, а лінія подачі біопалива перекривається.

Важливим показником під час розробки алгоритму керування та визначення відсоткового складу сумішевого палива є інертність системи живлення. Процес регулювання складу сумішевого палива досить швидкий але через інертність певна кількість попереднього сумішевого палива залишається перед подачею нового [6].

Беручи до уваги інертність в системі живлення, приймаємо в розробленій методиці реагування не на короткочасну зміну режиму роботи машинно-тракторного агрегату, а на тривалий час так як необхідний відсоток паливної суміші не встигне потрапити до циліндрів двигуна. Безпосередньо на керуючий механізм дроселів системи змішування подається сигнал, що відповідає за певний відсотковий склад суміші, який забезпечить ефективну роботу двигуна з мінімальною подачею палива протягом 25 с роботи машинно-тракторного агрегату.

Щоб розробити алгоритм керування системи живлення та змішування з електронним регулюванням відсоткового складу суміші дизельного та біопалива машинно-тракторного агрегату необхідно побудувати розрахункову схему регуляторної характеристики (рис. 2).

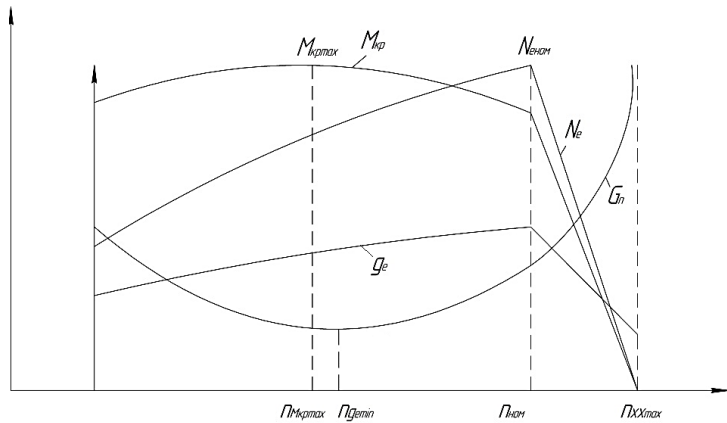


Рис. 2. Розрахункова схема для побудови алгоритму функціонування машинно-тракторного агрегату

Для розробленої методики покращення економічних та екологічних показників машинного агрегату шляхом використання системи живлення та змішування з електронним регулюванням відсоткового складу суміші дизельного та біопалив було удосконалено алгоритм роботи системи живлення, представлений на рис. 3. Рациональним відсотковим співвідношенням складу суміші палив ДП та БП забезпечуються ефективні технічні показники під час виконання роботи; питома ефективна витрата суміші палив рационального відсоткового складу при різних режимах роботи має наближатися до мінімального значення з найбільшим вмістом БП, яка забезпечує необхідний крутний момент, ефективну потужність, годинну витрату та частоту обертів двигуна.

Відповідно до розробленого алгоритму, системи живлення дизельного силового агрегату починає працювати з моменту холостого ходу, тобто коли він прогрітий до робочої температури.

Робота алгоритму починається зі зчитування вхідних даних:

- T_o , температура навколишнього середовища;
- P_o , тиск навколишнього середовища;
- g_e , ефективна питома витрата сумішевого палива;
- $g_{e\min}$, мінімальна ефективна питома витрата сумішевого палива;
- n , частота обертання колінчастого валу дизеля;
- $n_{хх\max}$, максимальна частота обертання холостого ходу колінчастого валу дизеля;
- $n_{ном}$, номінальна частота обертання колінчастого валу дизеля;
- N_e , ефективна потужність двигуна;
- $N_{е\ном}$, номінальна ефективна потужність двигуна;

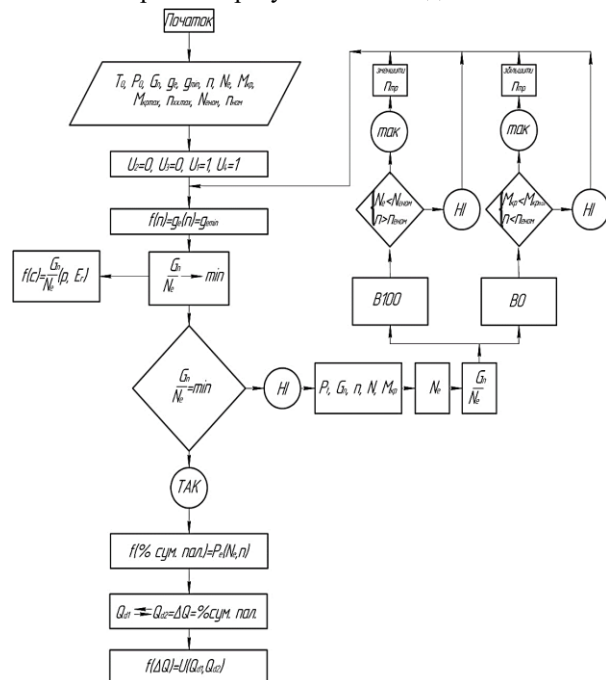


Рис. 3. Удосконалений алгоритм функціонування машинно-тракторного агрегату з використання системи живлення зі змішувачем палив

- $M_{кр}$, крутний момент двигуна;
- $M_{крmax}$, максимальний крутний момент двигуна.

Змінним U_2, U_3 присвоюється значення «0», а змінним U_1, U_4 – «1»; частота обертання колінчастого валу дизеля n приймається рівною частоті холостого ходу. Всі ці визначення описують роботу двигуна на режимі холостого ходу.

Далі необхідно забезпечити мінімальну ефективну питому витрату палива g_{emin} сумішевого палива в залежності від частоти обертів n . Виходячи з цього відношення годинної витрати G_n , до потужності N , наближається до мінімального значення, коригування якого відбувається завдяки ємнісному датчику, що безпосередньо визначає склад сумішевого палива виходячи з густини ρ та діелектричної проникності ϵ_r . Після необхідних коригувань відношення годинної витрати G_n , до потужності N , має дорівнювати мінімальному значенню ефективної питомої витрати палива g_{emin} . Якщо умова виконується «так», то формується сумішеве паливо відповідного відсоткового співвідношення для необхідного навантаження P_e в залежності від ефективної потужності N_e та частоти обертів n . Підбирається необхідна величина відкриття дроселів Q_{d1}, Q_{d2} в залежності від відсоткового складу сумішевого палива ΔQ . Як результат подається напруга U на керуючі органи дроселів Q_{d1}, Q_{d2} .

Якщо умова не виконується «ні», то відбувається підбір параметрів ефективної потужності N , крутного моменту $M_{кр}$, частоти обертів n , годинної витрати G_n , виходячи на ефективну потужність N_e , тягове зусилля P . Далі відбувається співвідношення годинної витрати G_n до ефективної потужності N_e і знову наближення до мінімальної ефективної питомої витрати.

Якщо співвідношення сумішевого палива наближається або дорівнює B100 переглядається умова ефективної потужності та частоти обертання
$$\begin{cases} N_e < N_{енюм} \\ n_e > n_{енюм} \end{cases}$$
 (регуляторна вітка характеристики (див. рис.

3.1)), при виконанні умови «так» необхідно зменшити передаточне число трансмісії η_{mp} . Як «ні» (коректорна вітка характеристики (див. рис. 3.1)), то відбувається знову перегляд умови наближення до мінімальної питомої витрати.

Якщо співвідношення сумішевого палива наближається або дорівнює B0 переглядається умова крутного моменту та частоти обертання
$$\begin{cases} M_{кр} < M_{крнюм} \\ n_e < n_{енюм} \end{cases}$$
 (режим перевантаження), при виконанні умови

«так» необхідно збільшити передаточне число трансмісії η_{mp} . Як «ні», то відбувається знову перегляд умови наближення до мінімальної питомої витрати.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Розроблено комутаційну схему, яка може бути застосована при серійному виготовленні системи живлення дизельного двигуна.
2. Розроблено лінійний алгоритм для написання та налагодження програмного забезпечення системи живлення дизельного двигуна з електронним керуванням. Алгоритм припускає повністю автоматичну роботу системи живлення, усуваючи людський фактор.
3. Наявність багатоканального електронного блока керування дає можливість подальшої модернізації й удосконалення.

Література

1. Грабар І. Г., Колодницька Р. В., Семенов В. Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: монографія. Житомир: ЖДТУ. 2011. 152 с.
2. Поляков А.П., Нгаяхи Аббе К.В., Галушак О.О., Бишко М.О., Заверуха Ю.В. Дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля переведення його на роботу на біодизельне паливо. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2012. № 1. С. 61-69.
3. Бурлака С.А. Розробка змішувача біодизельного палива та моделювання процесу змішування. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. № 1 (11). С. 11-17.
4. Ярошук Р.О., Гулько І.В., Бурлака С.А. Вибір оптимальної методики покращення складу сумішевого біопалива з рослинних олій. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. №4 (263). С. 123-128.
5. Varabash V. M., Abiev R. Sh., Kulov N. N. Theory and Practice of Mixing: A Review. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering* 2018, Volume 52, Issue 4, pp. 473–487.
6. Бурлака С.А., Ярошук В.М., Здирко Н.Г. Рекомендації щодо оцінки та діагностування дизельного двигуна при використанні біопалива. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 4 (299). С. 169-174.

References

1. Hrabar I. H., Kolodnyts'ka R. V., Semenov V. H. Biopalyva na osnovi oliy dlya dyzel'nykh dvyhuniv: monohrafiya. Zhytomyr: ZHDTU. 2011. 152 s.
2. Polyakov A.P., Nhayakhy Abbe K.V., Halushchak O.O., Byshko M.O., Zaverukha YU.V. Doslidzhennya vplyvu na tekhniko-ekonomichni ta ekolohichni pokaznyky dyzelya perevedennya yoho na robotu na biodyzel'ne palyvo. Visnyk Donets'koyi akademiyi avtomobil'noho transportu. 2012. No 1. S. 61-69.
3. Burlaka S.A. Rozrobka zmishuvacha biodyzel'noho palyva ta modelyuvannam protsesu zmishuvannya. Visnyk mashynobuduvannya ta transportu. 2020. № 1 (11). S. 11-17.
4. Yaroshchuk R.O., Hun'ko I.V., Burlaka S.A. Vybir optimal'noyi metodyky pokrashchennya skladu sumishevoho biopalyva z roslynnykh oliy. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2018. №4 (263). S. 123-128.
5. Barabash V. M., Abiev R. Sh., Kulov N. N. Theory and Practice of Mixing: A Review. Theoretical Foundations of Chemical Engineering 2018, Volume 52, Issue 4, pp. 473–487.
6. Burlaka S.A., Yaropud V.M., Zdyrko N.H. Rekomendatsiyi shchodo otsinky ta diahnostuvannya dyzel'noho dvyhuna pry vykorystanni biopalyva. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2021. № 4 (299). S. 169-174.

Рецензія/Peer review : 09.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-145-151

УДК 621.314

ГОНЧАРЕНКО Ю. П., ПРЯДКО В. А., ПОЛЕЩУК І. І., СИНЬКІВСЬКИЙ В. А.

Поліський національний університет

ОСТРА Н. В.

Вінницький національний технічний університет

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ЗОНДУЮЧОГО СИГНАЛУ ЗАСОБІВ ЛОКАЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

В роботі представлено режими виявлення ожеледі на повітряній лінії 110 кВ. Проаналізовано методи виявлення пошкоджень при ожеледі проводів ліній електропередачі. Розроблено пропозиції вдосконалення підходів визначення пошкоджень, що спричинені ожеледдю на провадах повітряних ліній електропередачі. В статті основна увага сфокусована на методи локаційного зондування, який полягає в подачі імпульсного сигналу в лінію та визначенні сумарного часу, витраченого на його поширення вздовж дроту у прямому та зворотному напрямках після відображення від кінця лінії або від високочастотного загороджувача. При локаційному способі виявлення ожеледі інформацію про появу ожеледі несуть імпульси, відображені від будь-якої неоднорідності хвильового опору лінії, що є на ній. Всі негативні фактори, зокрема і ожеледь, змінюють хвильовий опір довгої лінії, створюючи неоднорідності в повітряних ліній електропередачі та збільшується час проходження відбитим імпульсом заданої ділянки лінії при наявності ожеледі. Їх можна визначити за допомогою активного зондування. Проблема полягає в тому ці неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не в змозі виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність шумів та завад можуть бути більшими, а головне вони можуть знаходитися на розгалужених лініях електропередачі. В роботі показано, що збільшення тривалості зондування імпульсу із застосуванням різних видів модуляції дозволяє збільшити енергію зондування сигналу, забезпечити необхідну ширину спектра та відповідно роздільну здатність приладу на відстані. В статті запропоновано спосіб врахування "сліпої зони", в якій не можливо визначити відбиті сигнали від місця неоднорідності повітряних ліній електропередачі. На час випромінювання зондування сигналу вхід приймача закритий і тому відбиті від однорідності сигнали не поступають на приймач. У FMICW-радіолокаторі процес вимірювання для визначення дальності полягає у вимірюванні різниці між поточною частотою сигналу, що випромінюється, і частотою відбитого сигналу то в іонозонді час запізнення відбитого сигналу від неоднорідності визначається після оптимальної (кореляційної) обробки всього сигналу. Алгоритм та метод роботи іонозонду пропонується впровадити для розробки пристрою діагностування технічного стану розподільних електричних мереж.

Ключові слова: зондування сигнал, метод локаційного зондування, діагностування, повітряні лінії електропередач.

Yu. HONCHARENKO, V. PRIADKO, I. POLESHCHUK, V. SYNKIVSKIY

Polissya National University

N. OSTRA

Vinnytsia National Technical University

APPROACHES OF PROBING SIGNAL TYPE DETERMINATION OF MEANS LOCAL PROBING FOR DISTRIBUTED POWER GRIDS TECHNICAL CONDITION DIAGNOSTIC

The paper presents the modes of ice detection on a 110 kV overhead line. Methods of detecting damage during ice of power transmission wires are analyzed. Proposals for improving the approaches to determining the damage caused by ice on the wires of overhead power lines have been developed. The article focuses on the method of location probing, which consists in applying a pulse signal to the line and determining the total time spent on its propagation along the wire in the forward and reverse directions after reflection from the end of the line or from high-frequency barrier. In the locational method of detecting ice, information about the appearance of ice is carried by pulses reflected from any inhomogeneity of the wave resistance of the line on it. All negative factors, including ice, change the wave resistance of a long line, creating inhomogeneities in overhead power lines and increases the travel time of the reflected pulse of a given section of the line in the presence of ice. They can be determined by active probing. The problem is that these inhomogeneities can be small in amplitude and active sounding is unable to detect the reflected signal from the homogeneity as the power of noise and interference can be greater, and most importantly they can be on branched power lines. The paper shows that increasing the duration of the probing pulse with the use of different types of modulation allows to increase the energy of the probing signal, to provide the required spectrum width and, accordingly, the resolution of the device at a distance. The article proposes a method of taking into account the "blind zone", in which it is not possible to determine the reflected signals from the place of heterogeneity of overhead power lines. At the time of emission of the probing signal, the input of the receiver is closed and therefore reflected from the homogeneity of the signals do not arrive at the receiver. In FMICW radar, the measurement process to determine the range is to measure the difference between the current frequency of the emitted signal and the frequency of the reflected signal in the ion probe. It is proposed to introduce an algorithm and a method of ionosonde operation for the development of a device for diagnosing the technical condition of electrical distribution networks.

Keywords: probing signal, location probing method, diagnostics, overhead power lines.

Постановка проблеми у загальному вигляді**та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Ринкові відносини між виробниками та споживачами електроенергії вимагають якісного та безперебійного електропостачання. На жаль, електроенергетичне обладнання, яке використовується сьогодні в Україні, значною мірою фізично та морально застаріло [1]. Повітряні лінії електропередачі, що охоплюють величезні території, є найменш надійними елементами сучасної енергосистеми [2].

Питання про надійність електропостачання споживачів виникає у зв'язку з тим, що практично всі елементи електричної мережі з часом ушкоджуються. Скорочення кількості можливих пошкоджень часто пов'язано з великими додатковими витратами. Тому при конструюванні електричних мереж орієнтуються на середні умови їхньої роботи. В більш важких режимах, які виникають порівняно не часто, вдаються до розрахунку ймовірності пошкодження елементів мереж. Ці ушкодження можуть спостерігатися як від витрат монтажу та умов експлуатації повітряної лінії, але й певних зовнішніх умов - підвищеної грозової діяльності, посиленних вітрових впливів, особливо тяжких утворень ожеледі тощо. Одним із основних факторів, що призводять до порушення працездатного стану повітряної лінії та їх пошкодження, які пов'язані з навантаженнями від дії ожеледі, снігу, вітрові навантаження, та атмосферної перенапруги. На даний момент застосовуються різні методи діагностування технічного стану розподільчих електричних мереж, такі як: візуальний огляд, метод акустичної емісії, контроль деревини опор на загивання за допомогою огляду або простукування, метод вимірювання навантаження від ожеледі за допомогою вимірювання ваги одного або кількох прольотів лінії, локаційний метод зондування, прямі та непрямі методи перевірки ізоляції.

В даній роботі пропонуються напрямки удосконалення методів локаційного зондування для оцінки технічного стану розподільчих електричних мереж. Новизна полягає у використанні спеціальних ширококутових сигналів для зондування та їх оптимальна обробка, вибрано спосіб визначення місць пошкоджень (неоднорідності) в розгалужених повітряних лініях електропередачі, які можуть бути основою діагностичного пристрою ЛЕП, що значно покращить діагностичні якості локаційного методу.

1. Аналіз методів виявлення пошкоджень при ожеледі проводів ЛЕП.

Ожеледні відкладення на проводах повітряних ліній електропередачі (ЛЕП) зазвичай утворюються на території кількох енергосистем. При цьому виникають масові провисання та обриви проводів, руйнування арматури, поломки опор повітряних ліній електропередачі.

Ці аварії становлять близько 25% від загальної кількості пошкоджень на повітряних лініях, а їх тривалість – близько 40 % від зальної тривалості всіх аварійних вимкнень [3].

При навантаженні від ожеледі нижче норми в результаті аеродинамічного впливу можуть виникати коливання (танець) проводів при односторонньому відкладенні ожеледі або вібрації при циліндричній формі ожеледі [4].

На даний час існують два напрями виявлення ожеледі:

1) прогнозування ймовірності можливого ожеледоутворення на основі метеорологічних даних повітряного середовища, що оточує проводи, з урахуванням технічних параметрів ЛЕП;

2) безпосередній контроль процесу ожеледі на проводах за допомогою датчиків та пристроїв виявлення ожеледі [5, 6], що дозволяє достатньо точно визначати момент початку її утворення.

Прогнозування ожеледі на основі метеорологічних даних повітряного середовища застосовують у багатьох країнах, де зледеніння ліній електропередачі є актуальною проблемою, щоб пом'якшити або уникнути його впливу на працездатність цих ліній.

Роботи з прогнозування ожеледі на проводах повітряних ліній ведуться в дослідницьких центрах Чехії [7], Ісландії [8], Канади [9], Франції [10], Великобританії [11] та ін.

Основою прогнозу є модельні закономірності таких метеорологічних явищ, як вологість та температура навколишнього повітря, вітрові тиски, їх зміни з висотою від землі. При цьому враховуються рельєф місцевості, де проходить траса повітряної ЛЕП, висота траси над рівнем моря, а також кліматичні та погодні умови. Прогноз здійснюється з врахуванням технічних параметрів повітряної лінії. У застосовуваних моделях впливу ожеледі робиться ряд припущень, тому що невідомі точний діапазон температур для умов випадання вологого снігу, тривалість опадів, вміст рідкої води у зледеніння. Все це знижує прогностичні можливості моделі. Крім того, важливим фактором, який має бути прийнятий до уваги в моделі, є нагрівання дроту за рахунок ефекту Джоуля, викликане електричним струмом. В даний час немає певної моделі виникнення ожеледі, яка може достовірно враховувати всі фізичні та механічні процеси, що беруть участь при зледеніння, тому кількість помилкових спрацювань протиаварійної автоматики дуже висока. На жаль, дані прогнозу є попередженням про можливу загрозу виникнення ожеледі і не можуть бути конкретною вказівкою про початок плавлення ожеледі, що утворилась на проводах повітряних ліній електропередачі.

На сьогоднішній день є велика кількість патентів, що пропонують методи та датчики для виявлення ожеледі [6]. Датчики при появі ожеледі на ЛЕП реагують на зміни:

- фізичних параметрів середовища, навколишнього дроту;
- електричних характеристик дротів;
- ваги чи натягу проводів;

- умов поширення високочастотних та імпульсних сигналів по дротах повітряних ліній.

Практичне застосування для виявлення ожеледі знайшли методи відмічені в [6, 12–17]. Найбільш цікавим та перспективним з відмічених методів являється метод локаційного зондування.

Метод локаційного зондування полягає в подачі імпульсного сигналу в лінію та визначенні сумарного часу, витраченого на його поширення вздовж дроту у прямому та зворотному напрямках після відображення від кінця лінії або від високочастотного (ВЧ) загороджувача. При локаційному способі виявлення ожеледі інформацію про появу ожеледі несуть імпульси, відображені від будь-якої неоднорідності хвильового опору лінії (реперної точки), що є на ній. Неоднорідності це кінці ліній або розгалужень від них, ВЧ загороджувачі, місця приєднання розгалужень до лінії електропередачі, місця з'єднання повітряних ліній з кабельними вставками і та інше.

При утворенні відкладення від ожеледі збільшується час проходження Δt відбитим імпульсом заданої ділянки лінії з одночасним зменшенням його амплітуди U .

Локаційний пристрій, що здійснює зондування ЛЕП, називається рефлектометром, функціональна схема якого представлена на рис. 1.

З генератора імпульсів рефлектометра імпульси подаються до лінії. Відбиті імпульси надходять з лінії до приймача. З виходу приймача перетворені сигнали надходять на графічний індикатор. Усі блоки рефлектометра керуються сигналами блоку управління. На графічному індикаторі відтворюється рефлектограма лінії – зображення відображених імпульсів на часовій осі як реакція неоднорідності лінії на зондуючий імпульс.

Відкладення від ожеледі на дротах це неоднорідний діелектрик, що зменшує швидкість розповсюдження сигналу вздовж лінії і викликає його додаткове згасання, зумовлене діелектричними втратами енергії електромагнітної хвилі, яка витрачається на нагрівання шару покриття від ожеледі. Локаційний метод дозволяє визначити появу відкладення від ожеледі на провадах ЛЕП шляхом порівняння часу розповсюдження відбитих сигналів або їх амплітуд за наявності та за відсутності утворень ожеледі.

При зондуванні лінії імпульсним локатором спрощена схема підключення якого до лінії показана на Рис. 2 а, сукупність відбитих імпульсів утворює рефлектограму, що змінюється при появі відкладення від ожеледі на лінії.

Якщо від штатної (еталонної) рефлектограми (Рис. 2,б – суцільна лінія) відняти поточну рефлектограму (Рис. 2,б – пунктирна лінія), то різниці зміни надійно виявляються за появою сигналу, що відповідає кінця лінії в точці Б (рис. 2,в).

Чим більший хвильовий опір лінії буде змінюватися під дією товщини відкладення від ожеледі через зміну діелектричної проникності між провадами лінії, тим більша буде різниця між рефлектограмами, тим більше будуть збільшення затримки імпульсу Δt і зменшення амплітуди імпульсу ΔU (Рис. 2,б).

Недоліком класичного локаційного методу є неможливість відрізнити наявність невеликої за товщиною ожеледі на великій довжині повітряної лінії від небезпечної концентрації льоду в окремих її прольотах (розгалуження). В цьому у разі застосовується метод розбиття повітряної лінії на окремі локаційні ділянки, для них визначається питома товщина стінки ожеледь, за найбільшою величиною якого приймається рішення про необхідність плавки ожеледі [18].

Виходячи з вище вказаного приходимо до висновку, що всі негативні фактори змінюють хвильовий опір довгої лінії, створюючи неоднорідності в ЛЕП та збільшується час проходження Δt відбитим імпульсом заданої ділянки лінії при наявності ожеледі. Їх можна визначити за допомогою активного зондування. Проблема полягає в тому ці неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не в змозі виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність шумів та завад можуть бути більшими, а головне вони можуть знаходитися на розгалужених лініях електропередачі.

Для усунення вказаних недоліків, а саме, неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не в змозі виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність шумів та завад можуть бути більшими, а головне вони можуть знаходитися на розгалужених лініях електропередачі,

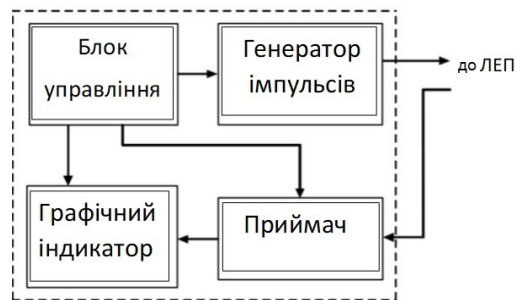


Рис. 1. Функціональна схема локаційного пристрою

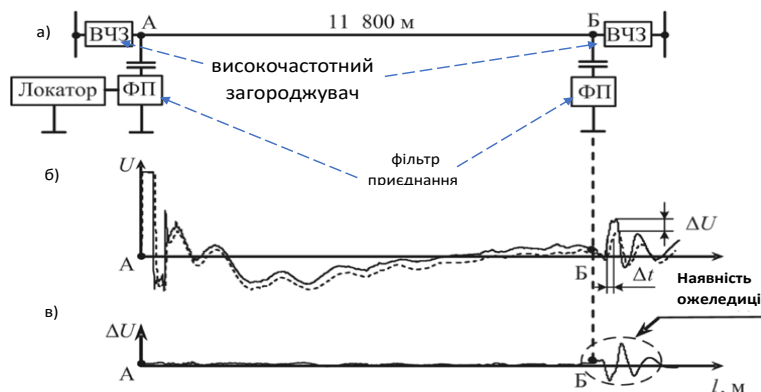


Рис. 2. Режим виявлення ожеледі на повітряній лінії 110 кВ завдовжки 11 800 м: а – схема лінії; б – рефлектограми лінії без ожеледі (—) та за наявності ожеледі (---); в – різниця рефлектограм лінії без ожеледі та за наявності ожеледі з коливаннями сигналу в точці Б, обумовленими наявністю ожеледиці

потрібно вибрати:

- метод (спосіб) визначення місць які мають неоднорідності хвильового опору не тільки на основній лінії ЛЕП, а і в окремих її прольотах (розгалуження) [19];
- вид зонduючого сигналу та його оптимальну (кореляційну) обробку.

2. Визначення виду зонduючого сигналу для його оптимальної (кореляційної) обробки

Виходячи з вище вказаного приходимо до висновку, що всі негативні фактори змінюють хвильових опір ЛЕП, створюючи неоднорідності в ній, тому їх можна визначити за допомогою активного зондування. Проблема полягає в тому ці неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не зможе виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність завад можуть бути більшими ніж інформаційний сигнал. Показником якості та основною характеристикою передачі сигналу для будь-якої системи є відношення сигнал-шум (С/Ш), Очевидно, що чим більше дане відношення, тим краще працює система або пристрій.

Вирішення проблеми можливо наступними методами:

- підвищення потужності зонduючого сигналу;
- накопичення відбитих сигналів;
- використання широкосмугових сигналів (ЛЧМ, КФМ) та їх оптимальна обробка;
- використання широкосмугових сигналів (ЛЧМ,КФМ) та їх накопичення з подальшою оптимальною обробкою;
- використання спеціально сформованих сигналів та їх оптимальна обробка.

Підвищення потужності зонduючого сигналу з метою підвищення відношення сигнал-шум (С/Ш) не доцільно так, як відбиті сигнали від неоднорідності можуть ввести перші каскади підсилювачів в режим насичення і ми не отримаємо бажаного результату. Тому використовується накопичування відбитих сигналів [20].

Точність визначення дальності

Теоретична максимально досяжна точність вимірювання дальності методом радіолокаційної імпульсної далекометрії залежить від точності вимірювання часу запізнення відбитого сигналу.

Як видно з рис. 3, точність виміру дальності в основному залежить від рівня шуму або, точніше, співвідношення між амплітудою імпульсу і рівнем шуму. Кількісно це співвідношення описується відношенням "сигнал-шум". Рівень шуму залежить від ширини смуги пропускання приймального тракту. Крутизна фронту і спаду минулого відбитого імпульсу також залежить від цієї ширини.

Для значень відношення «сигнал-шум», значно більших одиниці, між цими величинами існує таке співвідношення:

$$\delta R \cong \frac{C}{2B\sqrt{2SNR}}, \quad (1)$$

де δR – помилка виміру; C – швидкість світла; B – ширина смуги пропускання; SNR – відношення «сигнал-шум». Як видно з формули чим більше SNR тим менша помилка виміру часу затримки сигналу. Однак ширина смуги пропускання є також суттєвим фактором, що впливає на роздільну здатність за дальністю:

$$S_r = C / 2B. \quad (2)$$

Таким чином, максимально досяжна точність вимірювання дальності (характеризується помилкою вимірювання дальності) може бути представлена, як функція роздільної здатності за дальністю:

$$\delta R \cong S_r \frac{C}{2B\sqrt{2SNR}}. \quad (3)$$

Застосування складних сигналів – як імпульсів зондування ЛЕП докладно описано в [18]. Збільшення тривалості зонduючого імпульсу із застосуванням різних видів модуляції дозволяє збільшити енергію зонduючого сигналу, забезпечити необхідну ширину спектра та відповідно роздільну здатність приладу на відстані. Але є один суттєвий недолік, це «сліпа зона» в якій не можливо визначити відбиті сигнали від місця неоднорідності ЛЕП. На час випромінювання зонduючого сигналу вхід приймача закритий і тому відбиті від однорідності сигнали не поступають на приймач рис. 4.

Вимоги до діагностичного пристрою:

- для визначення незначних місць неоднорідності в ЛЕП великої протяжності, покращення точності вимірювання та завадозахищеність, необхідно отримувати відношення С/Ш від крайньої точки лінії не менш ніж 10 дБ;
- розподільна спроможність визначення місця пошкодження та іншого місця неоднорідності повинна бути не гірша ніж 50 м;
- при виборі зонduючого сигналу та обробку відбитих сигналів від місць неоднорідності добитися зменшення «сліпих зон»;

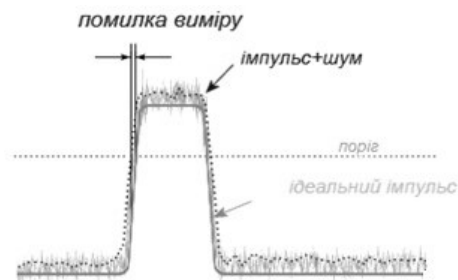


Рис. 3. Спотворення фронту імпульсу під впливом

- спроможність діагностування технічного стану ЛЕП, яка має розгалужений вид;
- вихідний сигнал повинен бути малої потужності;

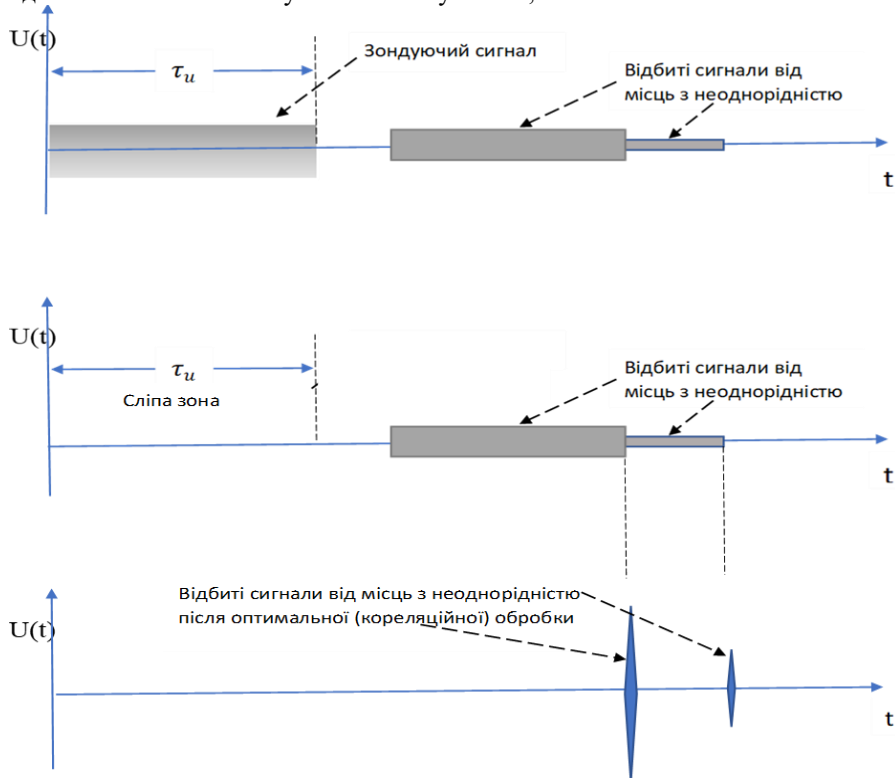


Рис. 4. Формування “сліпої зони” при застуданні імпульсної локації для діагностики технічного стану ЛЕП

- дешевий при виготовленні, функціональний та зручний в експлуатації.

В ході пошуку зондуєчого сигналу, який би міг допомогти реалізувати вимоги до діагностичного пристрою, проведено аналіз сучасних РЛС в яких реалізовано використання широкосмугових сигналів та їх обробка, особливо РЛС вертикального зондування іоносфери. Перші іонозонди були використані ще у 20 роках і потужність зондуєчого сигналу з вузькою смугою дорівнювала 10-20 кВт. Надсучасна система DPS-4, що складається з іонозонда і чотирьох прийомних антен, відрізняється від своїх попередніх аналогів тим, що має передавач малої потужності (300 Вт проти 10 кВт для попередніх своїх прототипів). Це досягнуто завдяки фазовому кодуванню сигналів, цифровому стиску імпульсу і доплерівському інтегруванню.

Але нашу увагу привернув апаратно-програмний комплекс частотного забезпечення ближнього декаметрового зв'язку з використанням ЛЧМ сигналів [21]. Потужність – 5-10 Вт.

Апаратно-програмний комплекс використовує зондуєчий сигнал з лінійною частотною модуляцією виду FMICW [22]. Якщо в радіолокатор безперервного випромінювання з частотною модуляцією та перериваннями (Frequency Modulated Interrupted Continuous Wave, FMICW - Radar або FMICW-Radar) займає особливе місце в ряді різноманітних радіолокаційних технологій. Принцип його дії у тому, що під час процесу вимірювання випромінювання сигналу втрачається деякий час. Таким чином, формально такий радіолокатор є імпульсним радіолокатором. Під час відключення передавальної антени, генерація коливань у передавачі не припиняється і на приймач надходить опорне коливання, тому необхідне перетворення частоти прийнятого сигналу. Процес вимірювання для визначення дальності полягає у вимірюванні різниці між поточною частотою сигналу, що випромінюється, і частотою відбитого сигналу, як і в FMCW-радіолокаторі. Тобто, це не вимір часу запізнення відбитого сигналу, подібне до виконуваного в імпульсному радіолокаторі з внутрішньо імпульсною модуляцією. У РЛС вертикального зондування є істотні відмінності.

Формування FMICW сигналу аналогічно, як в FMCW-радіолокаторі тільки функція перемикачання має вигляд не меандра, а вид М-послідовності (рис. 5).

Кількість біт у М-послідовності називається довжиною та обчислюється за формулою:

$$N_b = 2^n - 1, \tag{3}$$

де $n = 1, 2, \dots, \bar{n}$.

Крім того, у нашому випадку інтерес представляють ще 3 властивості М-послідовності:

- кількість бітів, що приймають значення одиниця, на довжині одного періоду М-послідовності

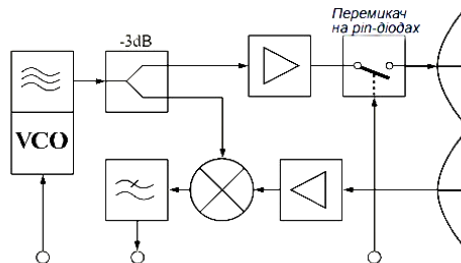


Рис. 5. У FMICW-радіолокаторі використовується додатковий перемикач на рп-діодах для вимкнення випромінювання потужності

на одиницю більше, ніж кількість символів, що набирають значення нуль;

- будь-які комбінації бітів довжини n на довжині одного періоду M -послідовності за винятком комбінації з n нулів зустрічаються трохи більше одного разу;
- серед груп бітів із періоду послідовності, складених з послідовних 1 і 0, половина має тривалість в один біт, четверта частина має тривалість у два біти, восьма частина має тривалість в чотири біти.

Таким чином, коефіцієнт заповнення послідовності буде наближатись до 50% зі зростанням довжини послідовності N_b при цьому інтервали прийому та передачі будуть розподілені рівномірно на періоді послідовності.

Якщо у ФМСW-радіолокаторі процес вимірювання для визначення дальності полягає у вимірюванні різниці між поточною частотою сигналу, що випромінюється, і частотою відбитого сигналу то в іонозонді час запізнення відбитого сигналу від неоднорідності визначається після оптимальної (кореляційної) обробки всього сигналу. Алгоритм та метод роботи іонозонду пропонується впровадити для розробки пристрою діагностування технічного стану розподільних електричних мереж.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Застосування M -послідовності в якості перемикаючої функції при одно позиційному зондуванні складним сигналом великої тривалості дозволяє отримати постійний середній рівень відбитого сигналу на періоді послідовності. При цьому втрати енергії щодо безперервного сигналу становлять $\frac{1}{4}$. З врахуванням наведених особливостей функціонування можна зробити висновок, що M -послідовність найкраще підходить для використання, як функція перемикавання.

Література

1. Рубаненко О. О. Аналіз роботи ВДЕ в розподільних мережах та шляхи компенсації їх нестабільності. / О.О. Рубаненко, В.П. Янович, І.О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019.– № 5. – С. 176 –179.
2. Матвієнко С. В. Моніторинг технічного стану електричних мереж з ізольованою нейтраллю на основі розподіленої системи RC-фільтрів з обмежувачами перенапруг та телеметрією напруг. / С.В. Матвієнко, В.П. Янович, О.О. Рубаненко, В.В. Явдик // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. – № 2. – С. 48 – 53.
3. Шалыт Г.М. Определение мест повреждений линий электропередачи импульсным методом / Г.М. Шалыт. – Москва : Энергия, 1968. – 216 с.
4. Яковлев Л.В. Комплексные методы и устройства для защиты проводов и грозозащитных тросов воздушных линий от вибрации, «пляски» и гололедообразования / Л.В. Яковлев // Энергетик. – 2018. – № 5 (265). – С. 15 – 17.
5. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи. Р.Г. Минуллин, И.Ш. Фардиев – Казань : Изд-во КГЭУ, 2008. – 202 с.
6. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием / Р.Г. Минуллин. – Казань : Изд-во КГЭУ, 2010. – 207 с.
7. System for prediction and monitoring of ice shedding, antiicing and de-icing for overhead lines. / CIGRE Working Group B2.29, 2009.
8. Farzaneh M. Atmospheric Icing of Power Networks / M. Farzaneh. – Springer Science, 2008.
9. Fikke S. Cost Action 727. Measuring and forecasting atmospheric icing on structures // Proc. 11th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Montreal, Canada. 2005. Paper IW64.
10. Gland H., Admirat P. Meteorological conditions for wet snow occurrence in France. Calculated and measured results in a recent case study on March 5th, 1985 // Proc. 3rd Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Vancouver, Canada. 1986.
11. Wareing B.J., Nygaard, B.E. WRF Simulation of wet snow and rime icing incidents in the UK // Proc. 13th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Andermatt, Switzerland. 2009.
12. Дьяков А.Ф., Левченко И.И., Засыпкин А.С. и др. Информационная система контроля гололедообразования на воздушных линиях электропередачи / А.Ф. Дьяков, И.И. Левченко, А.С. Засыпкин // Энергетик. – 2005.– № 11. – С. 20 – 25.
13. Левченко И.И., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Сацук Е.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах / И.И. Левченко, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, Е.И. Сацук // Учеб. Пособие. – М.: ИД МЭИ, 2007. – 445 с.
14. Левченко И.И., Сацук Е.И. Система прогнозирования и контроля гололедообразования / И.И. Левченко, Е.И. Сацук // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2011. – № 1. – С. 14 – 18.
15. Костиков И. Система мониторинга «САТ-1» – эффективная защита ВЛЭП от гололеда / И. Костиков // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2011. – № 1. – С. 32–35.
16. Минуллин Р.Г., Губаев Д.Ф. Критерии и индикаторы обнаружения гололеда на линиях электропередачи при локационном зондировании / Р.Г. Минуллин, Д.Ф. Губаев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика.

Телекоммуникации. Управление. СПб.: Изд-во СПбГПУ. – 2009. – № 4 (82). – С. 191–197.

17. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололеда и повреждений на воздушных линиях электропередачи локационным методом / Р.Г. Минуллин // Энергетика Татарстана. – 2011. – № 2 (22). – С. 15–17.

18. Минуллин Р.Г. Локационное обнаружение гололеда на воздушных линиях электропередачи. Часть 1. Способы обнаружения гололеда / Р.Г. Минуллин, В.А. Касимов, Т.К. Филимонова, М.Р. Яруллин // Научно-технические ведомости СПбГПУ: Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – № 2 (193). – С. 61–73.

19. Пат. на винахід №121486 України. МПК (2020) С2 13 Спосіб визначення місця пошкодження розгалуженої лінії електропередачі з декількома джерелами живлення / О.В. Андреев, П.П. Мартинчук, І.І. Полещук, М.Ф. Хоменко; заявник і патентовласник Житомирський державний технологічний університет. – № а 2017 05212 ; заяв. 10.11.2017; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 21. – 5 с.

20. Куликов А.Л. Дистанционное определение мест повреждений ЛЭП методами активного визирования / А.Л. Куликов. – Москва : Энергоатомиздат, 2006. – 148 с.

21. Портативный цифровой ионозонд DPS-4 [Электронный ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступа: <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovoy-ionozond-dps-4/>– (Дата звернення 30.01.2022). – Назва з екрана.

22. Елсуков О.О. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. “Однопозиционная система частотного обеспечения ближней декаметровый связи на основе технологии программно-конфигурируемого радио”, 2015.

References

1. Rubanenko O.O. Analiz roboty VDE v rozpodilnykh meshzhakh ta shliakhy kompensatsii yikh nestabilnosti./ O.O. Rubanenko, V.P. Yanovych, I.O. Hunko // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2019. – № 5. – С. 176 – 179.
2. Matviienko S. V. Monitoryng tekhnichnoho stanu elektrychnykh meshzh z izolovanoiou neutralliu na osnovi rozpodilenoj systemy RC-filtriv z обмежувачамы перенарух та телеметриєю напрух/ S.V. Matviienko, V.P. Yanovych, O.O. Rubanenko, V.V. Yavdyk // Zbirnyk naukovykh prats VNAU: Seriya tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2018. – № 2. – С. 48 – 53.
3. Shalyt G.M. Opredelenie mest povrezhdenij linij elektroperedachi impulsnym metodom / G.M. Shalyt. – Moskva : Energiya, 1968. – 216 s.
4. Yakovlev L.V. Kompleksnye metody i ustrojstva dlya zashity provodov i grozozashitnyh trosov vozdushnyh linij ot vibracii, «plyaski» i gololedoobrazovaniya / L.V. Yakovlev // Energetik. – 2018. – № 5 (265). – С. 15 – 17.
5. Minullin R.G., Fardiev I.Sh. Lokacionnaya diagnostika vozdushnyh linij elektroperedachi. R.G. Minullin, I.Sh. Fardiev – Kazan : Izd-vo KGEU, 2008. – 202 s.
6. Minullin R.G. Obnaruzhenie gololednyh obrazovanij na liniyah elektroperedachi lokacionnym zondirovaniem / R.G. Minullin. – Kazan : Izd-vo KGEU, 2010. – 207 s.
7. System for prediction and monitoring of ice shedding, antiicing and de-icing for overhead lines. / CIGRE` Working Group B2.29, 2009.
8. Farzaneh M. Atmospheric Icing of Power Networks / M. Farzaneh. – Springer Science, 2008.
9. Fikke S. Cost Action 727. Measuring and forecasting atmospheric icing on structures // Proc. 11th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Montreal, Canada. 2005. Paper IW64.
10. Gland H., Admirat P. Meteorological conditions for wet snow occurrence in France. Calculated and measured results in a recent case study on March 5th, 1985 // Proc. 3rd Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Vancouver, Canada. 1986.
11. Wareing B.J., Nygaard, B.E. WRF Simulation of wet snow and rime icing incidents in the UK // Proc. 13th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Andermatt, Switzerland. 2009.
12. Dyakov A.F., Levchenko I.I., Zasyplin A.S. i dr. Informacionnaya sistema kontrolya gololedo-obrazovaniya na vozdushnyh liniyah elektroperedachi / A.F. Dyakov, I.I. Levchenko, A.S. Zasyplin // Energetik. – 2005. – № 11. – С. 20 – 25.
13. Levchenko I.I., Zasyplin A.S., Alliluev A.A., Sacuk E.I. Diagnostika, rekonstrukciya i ekspluatatsiya vozdushnyh linij elektroperedachi v gololednyh rajonah / I.I. Levchenko, A.S. Zasyplin, A.A. Alliluev, E.I. Sacuk // Ucheb. Posobie. – М.: ID MEI, 2007. – 445 s.
14. Levchenko I.I., Sacuk E.I. Sistema prognozirovaniya i kontrolya gololedoobrazovaniya / I.I. Levchenko, E.I. Sacuk // Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. – 2011. – № 1. – С. 14 – 18.
15. Kostikov I. Sistema monitoringa «SAT-1» – effektivnaya zashita VLEP ot gololeda / I. Kostikov // Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. – 2011. – № 1. – С. 32–35.
16. Minullin R.G., Gubaev D.F. Kriterii i indykatory obnaruzheniya gololeda na liniyah elektroperedachi pri lokacionnom zondirovanii / R.G. Minullin, D.F. Gubaev // Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Informatika. Telekomunikacii. Upravlenie. SPb.: Izd-vo SPbGPU. – 2009. – № 4 (82). – С. 191–197.
17. Minullin R.G. Obnaruzhenie gololeda i povrezhdenij na vozdushnyh liniyah elektroperedachi lokacionnym metodom / R.G. Minullin // Energetika Tatarstana. – 2011. – № 2 (22). – С. 15–17.
18. Minullin R.G. Lokacionnoe obnaruzhenie gololeda na vozdushnyh liniyah elektroperedachi. Chast 1. Sposoby obnaruzheniya gololeda / R.G. Minullin, V.A. Kasimov, T.K. Filimonova, M.R. Yarullin // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU: Informatika. Telekomunikacii. Upravlenie. – 2014. – № 2 (193). – С. 61–73.
19. Pat. na vynakhid №121486 Ukrainy. МПК (2020) S2 13 Sposib vyznachennia mistsia poshkodzhennia rozghaluzhenoi linii elektroperedachi z dekilkomu dzherelamy zhvylnennia / O.V. Andreiev, P.P. Martynchuk, I.I. Poleshchuk, M.F. Khomenko; zaiavnyk i patentovlasnyk Zhytomirskyi derzhavnyi tekhnolohichnyi universytet. – № а 2017 05212 ; zaiav. 10.11.2017; opubl. 10.06.2020, Biul. № 21. – 5 s.
20. Kulikov A.L. Distancionnoe opredelenie mest povrezhdenij LEP metodami aktivnogo vizirovaniya / A.L. Kulikov. – Moskva : Energoatomizdat, 2006. – 148 s.
21. Portativnyj cifrovoy ionozond DPS-4 [Elektronnij resurs] : [web-sajt]. – Rezhim dostupu: <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovoy-ionozond-dps-4/>– (Data zvernennya 30.01.2022). – Nazva z ekrana.
22. Elsuikov O.O. Disertatsiya na zdobuttya naukovogo stupenya kandidata tehnicnih nauk. “Odnopozicionnaya sistema chastotnogo obespecheniya blizhnej dekametrovoj svyazi na osnovе tehnologii programno-konfiguriruemogo radio”, 2015.

КУТИН В. М., КУТИНА М. В., КОВАЛЬОВ А. І.

ORCID ID: 0000-0002-2212-7577

e-mail: kovallovartem@gmail.com

Вінницький національний технічний університет

ПРИНЦИП ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З НАПРУГОЮ 6- 35 КВ

Запропоновано принцип визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі відносно землі, який ґрунтується на використанні критерія електробезпеки і мінімуму струму стікання на землю. Умови роботоздатності ізоляції розподільної мережі визначають у вигляді обмежень на зміну показників роботоздатності ізоляції відповідно до нормативних документів і стандартів. Розроблено метод визначення параметрів ізоляції фази мережі відносно землі шляхом неперервного контролю загального активного опору ізоляції і напруги фаз відносно землі і обробки результатів за допомогою спеціально діагностичної моделі, яка відображає залежність параметрів ізоляції від контрольованих показників. Для обробки даних вимірювань і визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі розроблено структуру і алгоритми функціонування діагностичного комплексу який складається із підсистеми неперервного і періодичного контролю, а також алгоритмічного програмного забезпечення на основі мікроконтролера.

Ключові слова: розподільна мережа, контроль ізоляції, визначення умов роботоздатності, діагностичний комплекс.

V. KUTIN, M. KUTINA, A. KOVALOV
Vinnytsia National Technical University

WORKABILITY CONDITIONS DETERMINATION OF NETWORK DISTRIBUTION WITH OVERHEAD LINES POWER TRANSMISSION WITH THE 6-35 KV

The principal of identification of isolation workability in relation to a ground was proposed. It is based on the electrosafety criteria usage and a minimum current flow to a ground. The conditions of workability of isolation of distribution network is calculated in look of changes of isolation workability restrictions in relation to regulations and standards. The Method of parameters of isolation phase calculation was developed in relation to a ground by continuous of common active isolation resistance and voltage phase in relation to a ground and results analysis with the help of special diagnostic model which shows the dependence of parameters of isolation from controllable items. For the calculation of data work and determination of isolation workability DN in relation to a ground was made a structure and algorithms of diagnostic complex functioning that contains the subsistence of constant and periodic control and algorithmical program software on the base of microcontroller. The main cause of insulation damage is the formation of shunt connections between the conductive part and the ground in electrical distribution networks with a voltage of 6-10 kV. In this case, there are two processes - a smooth symmetrical decrease in the active resistance of the insulation phases due to the action of moisture on the surface of the insulators and an asymmetric sharp decrease in the active resistance of the insulation of individual phases relative to the ground due to shunt connections. Determining the conditions of insulation performance of the distribution network in the form of restrictions on changes in insulation performance in relation to the ground, in accordance with regulations and standards, it is necessary to limit the amount of current through shunting minimum electricity losses.

Keywords: distribution network, isolation control, workability conditions determination, diagnostical complex

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі в умовах експлуатації ускладнюється тим, що не існує достатньо точних кількісних методів оцінювання впливу факторів, що погіршують стан ізоляції. До таких факторів належать процес старіння ізоляції, вологість, забруднення, механічні впливи, перенапруга, корозія і т.п. Тому для контролю ТС ізоляції на практиці використовують опосередковані електричні показники: напругу зміщення нейтралі, тангенс кута діелектричних втрат, загальний активний опір мережі відносно землі, струм і напругу нульової послідовності, провідність фаз відносно землі [1-12].

Для вирішення задачі визначення роботоздатності ізоляції РМ пропонується обрати чіткі і зрозумілі критерії для визначення роботоздатності ізоляції РМ і, таким чином, розмежувати роботоздатний і нероботоздатний стани ізоляції РМ. В якості таких критеріїв необхідно використовувати умови безпеки експлуатації ізоляційного обладнання РМ і мінімум втрат електроенергії в ізоляції РМ від струмів стікання на землю, що виникають через дефекти і пошкоджень ізоляції.

Метою роботи є визначення умов роботоздатності ізоляції розподільної мережі відносно землі шляхом оцінювання технічного стану ізоляції за критеріями безпеки і мінімуму втрат електроенергії від струмів стікання на землю.

Результати досліджень

Для досягнення поставленої мети пропонується такий алгоритм. На першому кроці обґрунтовуються критерії для визначення умов роботоздатності ізоляції які повинні множини ТС ізоляції $\{S\}$ розділити на дві підмножини $\{S_1\}$ роботоздатних станів і $\{S_2\}$ нероботоздатного стану. В якості таких критеріїв пропонується використати умови безпеки експлуатації електрообладнання розподільних мереж і мінімум втрат електроенергії в ізоляції РМ від струмів стікання на землю, що виникають через дефекти і

пошкодження ізоляції.

На другому етапі визначаються умови роботоздатності. Ізоляція РМ відносно землі розглядається як єдиний інтегральний об'єкт технічний стан якого описується зміною групи параметрів – активних провідностей фаз РМ відносно землі. Вибір показників технічного стану ізоляції має ґрунтуватись на аналізі відповідності усієї сукупності показників, що тим чи іншим чином характеризують процеси зміни технічного стану ізоляції, вибраним критерієм оцінки ТС ізоляції: безпека експлуатації РМ і економічність її функціонування [13].

Основною причиною зміни ТС ізоляції РМ з ізолюваною нейтраллю є її пошкодження відносно землі, тому вважають, що технічний стан міжфазної ізоляції не суттєво впливає на її загальний ТС. Його впливом можна знехтувати. Ємність фаз мережі відносно землі C_a, C_b, C_c залежить від конструктивних параметрів мережі і тому їх величини вважають постійними. Незначне зростання загальної ємності спостерігається лише при зволоженні поверхні ізоляторів. Активні провідності ізоляції відносно землі q_a, q_b, q_c , можуть змінюватись в досить широкому діапазоні значень. Ці зміни характеризують процес виникнення пошкоджень ізоляції. Основною причиною якого є виникнення шунтувальних зв'язків між фазами мережі і землею. При цьому розрізняють два граничних процеса зміни ТС ізоляції:

1. Симетричне підвищення активних провідностей ізоляції фаз відносно землі внаслідок старіння, зволоження і забруднення поверхні ізоляторів;
2. Несиметричне значне підвищення активної провідності окремих фаз відносно землі, внаслідок появи в них шунтувальних зв'язків із землею.

Як відомо [14] в Україні діє стандарт, згідно з яким обмежується струм, що може протікати через тіло людини при частоті 50 Гц, величиною не більше 6 мА в межах тривалої дії захисту від однофазних замикань на землю (ОЗЗ), що не перевищує 1 с. При вимірюванні напруги і струму через тіло людини, воно модулюється в електричному ланцюзі резистором з опором при тривалості дії захисту від ОЗЗ до 1с – 1кОм, більше 1с – 6кОм. Отже для обґрунтування критерію безпеки експлуатації необхідно ввести показник технічного стану, який має зв'язок із процесом пошкодження ізоляції і струмом через тіло людини, що виникає при цьому. Таким показником може бути струм в шунтувальному зв'язку, утворений людиною при її дотику до струмопровідної частини електрообладнання. Для обґрунтування вибору цього показника необхідно побудувати і розглянути спеціальну модель виникнення пошкодження ізоляції [15].

Відносно іншого критерія, очевидним є те, що основною мірою економічності функціонування розподільних мереж є втрати при передачі електроенергії. Миттєвою характеристикою є активна потужність втрат електроенергії від струмів стікання на землю ΔP_{iz} . Її можна вважати мірою економічності функціонування ізоляції РМ і, відповідно, показником роботоздатності при застосуванні цього критерію.

Для обґрунтування критерія електробезпеки розглянемо випадок коли дотик людини відбувається до заземлених частин електроустановки (корпус, арматура, металеві конструкції). Заступна схема мережі зображена на рисунку 1, де r_a, r_b, r_c активні опори ізоляції фаз РМ; C_a, C_b, C_c – ємності окремих фаз відносно землі; r_1, L_1 – параметри заступної схеми трансформатора напруги (ТН) контролю ізоляції; Z_N – еквівалентний опір навантаження; r_h – опір тіла людини, $r_h = 6\text{кОм}$ [16], R_z – опір заземлюючого пристрою (згідно [16] не повинен перевищувати 10 Ом для мережі 6-10 кВ), r_d – додатковий перехідний опір.

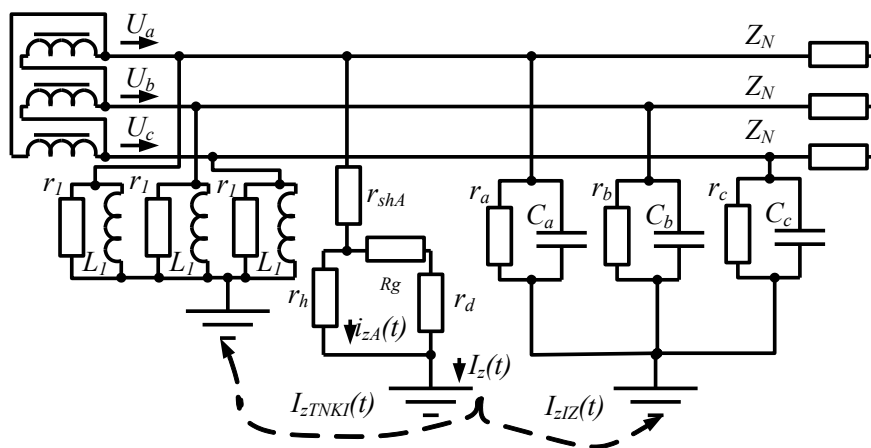


Рис.1. Заступна схема для опису процесу виникнення шунтувального зв'язку РМ і дотику людини до заземлених елементів електроустановки

Для моделювання найнесприятливішого випадку будемо вважати, що пошкодження ізоляції відбувається в електроустановці з найпростішим варіантом заземлення, при цьому вважається, що додатковий перехідний опір струму розтікання на землю є приблизно таким же, як і для проводу, що впав на землю [17], який в місці розтікання на землю приблизно дорівнює 100 Ом для сирової землі. Для найнесприятливішого випадку будемо вважати, що пошкодження виникає одночасно в 2-ох різних фазах мережі, а дотик людини відбувається в місці найбільшого пошкодження ізоляції і по тілу людини протікає

струм $i_{zA}(t)$, який не повинен перевищувати 6 mA. Для цих умов граничні значення умов роботоздатності ізоляції можна визначити як:

$$\begin{cases} I_{zA} = U_A \frac{g_{shA} \cdot g_h}{g_{shA} + g_h + g_g} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ A}; \\ I_{zB} = U_B \frac{g_{shB} \cdot g_h}{g_{shB} + g_h + g_g} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ A}; \\ I_{zC} = U_C \frac{g_{shC} \cdot g_h}{g_{shC} + g_h + g_g} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ A}, \end{cases} \quad (1)$$

де U_A, U_B, U_C – напруги фаз А, В, С відносно землі (діючі значення);

$q_{shA}, q_{shB}, q_{shC}$ – провідності шунтувальних зв'язків при виникненні пошкодження у відповідних фазах;

q_h – провідність тіла людини, яка дорівнює $q_h = 1/\gamma_h = 1/(6 \cdot 10^3) \text{ См}$;

q_q – провідність заземлення, що визначається як $q_q = 1/R_z + 1/\tau_d$, де R_z – номінальний опір заземлювального пристрою, який для цього типу мереж не повинен перевищувати 10 Ом;

τ_d – додатковий перехідний опір заземлення (обмежений величиною 100 Ом). Провідності шунтувальних зв'язків для різних варіантів їх виникнення у відповідних фазах $q_{shA}, q_{shB}, q_{shC}$ можна визначити шляхом вимірювання активного опору ізоляції фаз відносно землі в початковий момент часу (r_{a0}, r_{b0}, r_{c0}), наприклад, після введення в експлуатацію електроустановки або її поточного ремонту, а також визначення цих опорів в будь-який момент часу (r_a, r_b, r_c) і подальшого їх порівняння з початковими значеннями за формулами :

$$\begin{cases} g_{shA} = 1/r_a - 1/r_{a0} - 1/r_s; \\ g_{shB} = 1/r_b - 1/r_{b0} - 1/r_s; \\ g_{shC} = 1/r_c - 1/r_{c0} - 1/r_s, \end{cases} \quad (2)$$

де r_s – симетричне зниження опору ізоляції відносно землі внаслідок зволоження поверхні ізоляторів під час атмосферних опадів, яке можна визначити як

$$r_s = \text{Min}(r_{a0} - r_a) (r_{b0} - r_b) (r_{c0} - r_c). \quad (3)$$

Використання струму в шунтувальному зв'язку в якості показника технічного стану ізоляції дозволяє обмежити множину роботоздатних станів ізоляції, виходячи з умов безпечної експлуатації обладнання.

Величини напруг в фазах відносно землі також залежить від параметрів ізоляції:

$$\begin{cases} U_A = I'' \sqrt{\left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_c - C_b) \right]^2 + N}; \\ U_B = I'' \sqrt{\left[g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_a - C_c) \right]^2 + M}; \\ U_C = I'' \sqrt{\left[g_b + g_a + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_b - C_a) \right]^2 + K}; \\ I'' = \frac{1,5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}}; \\ N = \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2; \\ M = \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2; \\ K = \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_a) - \frac{2B_L}{3} \right]^2, \end{cases} \quad (4)$$

де U_f – фазна напруга розподільної мережі;

ω – кутова частота РМ;

C_A, C_B, C_C – ємності окремих фаз відносно землі;

g_A, g_B, g_C – активні провідності фаз мережі відносно землі;

B_L – сумарна реактивна провідність всіх індуктивних елементів, підключених до РМ відносно землі (обмоток трансформаторів напруги для контролю ізоляції типу ЗНОМ і НТМИ, а також дугогасильних реакторів ДГР і пристроїв для резонансного заземлення нейтралі) :

$B_L = 3/\omega(L_{TNKI\Sigma 1} + L_{DGR} + L_{PRZN})$. Тут слід зауважити, що індуктивності обмоток ТН вважаються лінійними величинами (для усталених режимів роботи мережі.)

Підставивши (4) в вираз (1) отримаємо вираз для математичної моделі визначення роботоздатності при застосуванні вище зазначених критеріїв.

При застосуванні критерію безпеки експлуатації математична модель для визначення

роботоздатності ізоляції має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{gA} = I'' \cdot g_{shA} \cdot g_h / (g_{shA} + g_h + g_g) \cdot \sqrt{G_{A'} + G_{A''}}; \\ I_{gB} = I'' \cdot \frac{g_{shB} \cdot g_h}{g_{shB} + g_h + g_g} \cdot \sqrt{G_{B'} + G_{B''}}; \\ I_{gC} = I'' \cdot \frac{g_{shC} \cdot g_h}{g_{shC} + g_h + g_g} \cdot \sqrt{G_{C'} + G_{C''}}; \\ G_{A'} = \left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_c - C_b) \right]^2; \\ G_{A''} = \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega (C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2; \\ G_{B'} = \left[g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_a - C_c) \right]^2; \\ G_{B''} = \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega (C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2; \\ G_{C'} = \left[g_b + g_a + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_b - C_a) \right]^2; \\ G_{C''} = \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega (C_b + C_a) - \frac{2B_L}{3} \right]^2. \end{array} \right. \quad (5)$$

Потужність втрат електроенергії від струмів стікання на землю можна визначити, маючи інформацію про напруги і активні провідності фаз мережі відносно землі

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{is\Sigma} = \Delta P_{isA} + \Delta P_{isB} + \Delta P_{isC}; \\ \Delta P_{is\Sigma} = U_A^2 \cdot g_a + U_B^2 \cdot g_b + U_C^2 \cdot g_c. \end{array} \right. \quad (6)$$

Отримане значення потужності втрат в ізоляції $\Delta P_{is\Sigma}$ порівнюють з нормативним ΔP_{iz}^{norm} , яке можна розрахувати, маючи такі технічні дані про мережу, як тип (ПЛ чи КЛ) загальну довжину L , номінальну напругу та переважну марку кабелів, згідно з методикою описаною в [18]

$$\Delta P_{is\Sigma} \leq \Delta P_{iz}^{norm}. \quad (7)$$

Таким чином, можна визначити понаднормативну потужність втрат ізоляції і накладання на її величину обмеження для формування умов роботоздатності.

Також, обмеження можна накладати для кожної фази окремо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{izA} \leq \Delta P_{iz}^{norm} / 3; \\ \Delta P_{izB} \leq \Delta P_{iz}^{norm} / 3; \\ \Delta P_{izC} \leq \Delta P_{iz}^{norm} / 3. \end{array} \right.$$

Згідно з методикою [18], виділяються декілька станів навколишнього середовища, для яких були проведені дослідження (Львів ОРГ-РЕС) і отримані для розрахунку нормативної потужності втрат ізоляції. Це такі: 1) дощ, мокрий сніг, мряка; 2) туман; 3) роса, погода без опадів. Тому, для визначення роботоздатності ізоляції РМ потрібно спочатку визначити нормативну потужність втрат в ізоляції для всіх трьох станів навколишнього середовища, і лише потім порівнювати фактичну величину потужності втрат в ізоляції з нормативною для відповідного рівня вологості навколишнього середовища, який необхідно контролювати.

При застосуванні критерію економічності функціонування математична модель для визначення роботоздатності ізоляції матиме такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{izA} = I'''' (N' + M'); \\ \Delta P_{izB} = I'''' (N'' + M''); \\ \Delta P_{izC} = I'''' (N''' + M'''); \\ I'''' = \frac{2,25 \cdot U_f^2 \cdot g_a}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega (C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}; \\ N' = \left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_c - C_b) \right]^2; \\ M' = \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega (C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2; \\ N'' = \left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_a - C_c) \right]^2; \\ M'' = \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega (C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2; \\ N''' = \left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} (C_b - C_a) \right]^2; \\ M''' = \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega (C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2. \end{array} \right. \quad (8)$$

Як бачимо, основну роль у відображенні процесу зміни технічного стану ізоляції РМ будуть відігравати активні провідності фаз мережі відносно землі g_a, g_b, g_c . Вони є єдиними величинами у співвідношеннях (7) і (8), що змінюються в процесі розвитку пошкодження, тому їх надалі і будемо вважати діагностичними показниками для визначення робоздатності ізоляції.

З врахуванням вище наведеного, діагностичну модель для методу визначення робоздатності ізоляції можна представити у вигляді чотириполосника з вхідним сигналом – фазними напругами РМ, і вихідним: в першому випадку (при застосуванні критерію безпеки експлуатації) – струмами стікання на землю через шунтувальний зв'язок (рис.2.а); в другому випадку (при застосуванні критерію економічності функціонування) – потужністю втрат електроенергії від струмів стікання на землю (рис.2.б).

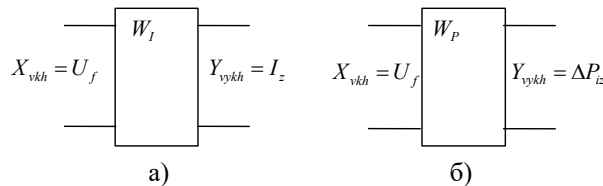


Рис. 2. Діагностична модель для визначення робоздатності ізоляції

а) – при застосуванні критерію безпеки експлуатації; б) – при застосуванні критерію економічності функціонування; на схемі W_1 – передатна функція при застосуванні в якості вихідного сигналу струму в шунтувальному зв'язку, W_p – передатна функція при застосуванні в якості вихідного сигналу потужності втрат електроенергії від струмів стікання на землю.

Визначення робоздатності, можна отримати із співвідношення між передатними функціями W_1 та W_p , оскільки і струми в шунтувальному зв'язку, і потужність втрат електроенергії від струмів стікання на землю залежать від напруг фаз мережі відносно землі:

$$W_1 = |W(i\omega)| \cdot \frac{g_{sh,x} \cdot g_l}{g_{sh,x} + g_l + g_z};$$

$$W_p = |W(i\omega)|^2 \cdot g_x \tag{9}$$

де x – індекс відповідної фази мережі; $W(i\omega)$ – комплекс передатної функції, коли в якості вихідного сигналу використовується напруга фази x мережі відносно землі.

Як бачимо, обидві передатні функції мають спільну складову – комплекс передатної функції $W(i\omega)$. Для спрощення задачі побудови характеристичного рівняння будемо надалі використовувати саме її в якості діагностичної моделі.

Визначимо передатну функцію для отриманої діагностичної моделі і характеристичне рівняння для проведення перевірки правильності вибору показників робоздатності ізоляції.

Визначимо комплекси передатних функцій при розгляді різних фаз мережі за формулою:

$$W_x(i\omega) = \frac{U_x}{U_f}$$

Для спрощення розрахунків при подальших дослідженнях будемо розглядати лише мережі з ізолюваною нейтраллю, в яких відсутні індуктивні елементи, що мають зв'язок із землею, тобто $B_L=0$.

Отже,

$$W_A(i\omega) = \frac{\sqrt{3}[(g_b + i\omega C_b)e^{i30^\circ} + (g_c + i\omega C_c)e^{-i30^\circ}]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega(C_a + C_b + C_c)};$$

$$W_B(i\omega) = \frac{\sqrt{3}[(g_c + i\omega C_c)e^{i30^\circ} + (g_a + i\omega C_a)e^{-i30^\circ}]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega(C_a + C_b + C_c)};$$

$$W_C(i\omega) = \frac{\sqrt{3}[(g_a + i\omega C_a)e^{i30^\circ} + (g_b + i\omega C_b)e^{-i30^\circ}]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega(C_a + C_b + C_c)} \tag{10}$$

У співвідношеннях (10) вирази для комплексів напруг фаз мережі відносно землі були отримані шляхом використання формули для напруги зміщення нейтралі U_0 у комплексному вигляді і аналізу заступної схеми трифазної мережі з ізолюваною нейтраллю, зображеної на рис.2.

Для переходу від комплексної до операторної форми запису (використовуємо операторний метод: $i\omega \rightarrow p$) розкриємо комплекси в чисельнику виразів (10) і помножимо чисельник і знаменник на спряжений знаменнику комплекс. В результаті отримаємо:

$$W(p) = \frac{\sqrt{3}(a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0)}{(g_a + g_b + g_c)^2 + \omega^2(C_a + C_b + C_c)^2} \tag{11}$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти характеристичного рівняння.

Для отримання характеристичного рівняння необхідно прирівняти чисельник виразу (11) до нуля.

$$a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0 = 0 \tag{12}$$

Для фази А коефіцієнти характеристичного рівняння

$$\left\{ \begin{array}{l} a_3 = - \left[\frac{1}{2 \cdot w} \cdot (C_b - C_c) \right]; \\ a_2 = \frac{1}{2 \cdot w} \cdot (C_b - C_c) \cdot (g_a + g_b + g_c) - \\ - \left[\frac{1}{2 \cdot w} (g_b - g_c) + \frac{1.5}{\sqrt{3}} (C_b + C_c) \right] (C_a + C_b + C_c); \\ a_1 = - \frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (g_b - g_c) (C_a + C_b + C_c) - \\ - \left[\frac{1}{2 \cdot w} (g_b - g_c) + \frac{1.5}{\sqrt{3}} (C_b + C_c) \right] (g_a + g_b + g_c); \\ a_0 = \frac{1.5}{\sqrt{3}} (g_b + g_c) (g_a + g_b + g_c); \end{array} \right. \quad (13)$$

Для фаз В і С коефіцієнти характеристичного рівняння є аналогічними виразам (13) з тією лише різницею, що замість множників $(q_b \pm q_c)$ і $(C_b \pm C_c)$ для фази В будуть множники $(q_c \pm q_a)$ і $(C_c \pm C_a)$, а для фази С – $(q_a \pm q_b)$ і $(C_a \pm C_b)$.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В переважній більшості випадків основною причиною пошкодження ізоляції є утворення шунтувальних зв'язків між струмопровідною частиною і землею в електричних розподільних мережах напругою 6-35 кВ. В цьому випадку відбувається два процеси – плавне симетричне зниження активного опору ізоляції фаз внаслідок дії вологи на поверхні ізоляторів та несиметричне різке зниження активного опору ізоляції окремих фаз відносно землі внаслідок появи шунтувальних зв'язків. В разі визначення умов роботоздатності ізоляції розподільної мережі у вигляді обмежень на зміну показників роботоздатності ізоляції відносно землі, узгоджених із нормативними документами і стандартами, необхідно здійснювати обмеження величини струму через шунтувальний зв'язок за критеріями електробезпеки і активної потужності втрат в ізоляції від струмів стікання на землю за економічним критерієм мінімуму втрат електроенергії

Література

1. Кутін В. М. Діагностика електрообладнання: Навчальний посібник / В. М. Кутін, М. О. Ілюхін, М. В. Кутіна – Вінниця: ВНТУ, 2014 – 161 с.
2. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг., «Відкрите засідання НКРЕКП 29 березня 2019 року. «Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2018 році (постанова від 29. 03. 2019 № 440)»,» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2018.pdf.
3. Кизим, Н. А та Лелюк, А. В., «Аналіз стану електроенергетичного сектора України,» In SPIN, № 7616, p. 1550, 2019.
4. ГДК 34.20.507-2003 «Правила Технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Правила» [Чинний від 2007-04-15], Львів: ЛьвівОРГРЕС, 2003 597с.
5. Норми випробування електрообладнання СООУ–ІЕЕ 20.302: 2007. – Офіс. Вид. – КГРІФЕ: М-во палива та енергетики України, 2007 – П 262 с. (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Норми)
6. Опорные полимерные изоляторы ЗАО «Феникс 88», изготовление, испытание, опыт [Електронний ресурс]: / Данилов Г., Власов В. Сухар В., Сяков В.// Новости электротехники – 2002 - №2 (14) – С. 23. Режим доступу до журналу: <http://www.news.elten.ru/arh/2002/14/22.php>
7. Кувайцев В. И. Высоковольтные изоляторы: Методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС./ Кувайцев В. И. – Оренбург: ГОУОГУ, 2004, - 24 с.
8. Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000В. Общие технические условия ГОСТ Р 52034-2003. [Дата введення 2004-01-01] М. ФГУП Стандартиформ. 2005 – 24 с.
9. Лабзун М. П. Механізми виникнення та оцінка теплових аномалій опорно-стрижневих ізоляторів/ М. П. Лабзун// Новини енергетики. – 2009. - №12 – С. 40 -45.
10. Леонтьев В. О. Електротехнічні матеріали: навчальний посібник./ В. О. Леонтьев, С. В. Бевз, В. А. Видмиш – Вінниця: ВНТУ 2013 – 122с.
11. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник/ В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко – Вінниця: ВНТУ, 2012 -522с.
12. Loos, Single Phase to Ground Fault in Compensated Network. Saarbrücken, Germany, Lambert Academic Publishing, 2014, 228 p
13. Кутін В. М. Визначення умов роботоздатності розподільних мереж. Монографія. / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко – Вінниця: ВНТУ, 2015 – 148с.

14. ГОСТ 12.1038 – 82. Предельно допустимые уровни напряжения и токов. Введ. 01.01.85. М из-во стандартов 1988.
15. Дубовой В. М. Моделирование та оптимізація систем [Текст] підручник:/ В. М. Дубовой, Р. Н. Кветний, О. І. Михайлов, А. В. Усов. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс», 2017 – 804с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / под. ред, Д. Л. Файбисовича – 3е изд. Перераба и доп. – М.: ЭНАС, 2009 – 392с.
17. Лежнюк П. Д. Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільній мережі зі складною топологією напругою 6 - 35 кВ : монографія / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2014. - 151 с
18. Структура балансу електроенергії в електричних мережах 0,38-154 кВ: меродики складання, аналізу скадових та нормування технологічних витрат електроенергії. України – К. – 2003. – 71

Referens

1. Kutin V. M. Diahnostyka elektroobladnannya: Navchal'nyy posibnyk / V. M. Kutin, M. O. Ilyukhin, M. V. Kutina – Vinnytsya: VNTU, 2014 – 161 s.
2. Natsional'na komisiya, shcho zdiysnyuye derzhavne rehulyuvannya u sferakh enerhetyky ta komunal'nykh posluh., «Vidkryte zasidannya NKREKP 29 bereznya 2019 roku. «Zvit pro rezul'taty diyal'nosti Natsional'noyi komisiyi, shcho zdiysnyuye derzhavne rehulyuvannya u sferakh enerhetyky ta komunal'nykh posluh, u 2018 rotsi (postanova vid 29. 03. 2019 № 440)»» [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2018.pdf.
3. Kyzym, N. A ta Lelyuk, A. V., «Analiz stanu elektroenerhetychnoho sektora ukrayiny,» In SPIN, № 7616, r. 1550, 2019.
4. HDK 34.20.507-2003 «Pravyla Tekhnichnoyi ekspluatatsiyi elektrychnykh stantsiy i merezh. Pravyla» [Chynnyy vid 2007-04-15], L'viv: L'vivORHRES, 2003 597s.
5. Normy vyprovuvannya elektroobladnannya SOOU–Y EE 20.302: 2007. – Ofits. Vyd. – K-HRIFE: M-vo palyva ta enerhetyky Ukrainy, 2007 – II 262 s. (Normatyvnyy dokument Minpalyvenerho Ukrainy. Normy)
6. Opornye polymernye yzolyatory ZAO «Fenyks 88», yz-hotovlenye, yspytanye, opyt [Elektronnyy resurs]: / Danylov H., Vlasov V. Sukhar V., Syakov V.// Novosti élektrotekhniky – 2002 - №2 (14) – S. 23. Rezhym dostupu do zhurnal: <http://www.news.elten.ru/arh/2002/14/22.php>
7. Kuvaytsev V. Y. Vysokovol'tnye yzolyatory: Metodycheskye ukazaniya k laboratomomu praktikumy po ÉCHS:/ Kuvaytsev V. Y. – Orenburh: HOUOHU, 2004, - 24 s.
8. Yzolyatory keramycheskye oporne na napryazhenye svyshe 1000V. Obshchye tekhnicheskye uslovyia HOST R 52034-2003. [Data vvedennya 2004-01-01] M. FHUP Standartynform. 2005 – 24 s.
9. Labzun M. P. Mekhanyzmy vynykennya ta otsinka teplovykh anomalii oporno-stryzhnevnykh yzolyatoryv/ M. P. Labzun// Novyny enerhetyky. – 2009. - №12 – S. 40 -45.
10. Leont'v V. O. Elektrotekhnichni materialy: navchal'nyy posibnyk./ V. O. Leont'yev, S. V. Bezv, V. A. Vydmysch – Vinnytsya: VNTU 2013 – 122s.
11. Kukharchuk V. V. Osnovy metrolohiyi ta elektrychnykh vymiryuvan': pidruchnyk/ V. V. Kukharchuk, V. YU. Kucheruk, YE. T. Volodars'kyi, V. V. Hrabko – Vinnytsya: VNTU, 2012 -522s.
12. M. Loos, Single Phase to Ground Fault in Compensated Network. Saarbrücken, Germany, Lambert Academic Publishing, 2014, 228 p
13. Kutin V. M. Vyznachennya umov robotozdatnosti rozpodil'nykh merezh. Monohrafiya. / V. M. Kutin, S. V. Matviyenko – Vinnytsya: VNTU, 2015 – 148s.
14. HOST 12.1038 – 82. Predel'no dopustymye urovny napryazhenyya y tokov. Vnedr. 01.01.85. M yz-vo standartov 1988.
15. Dubovoy V. M. Modelyuvannya ta optymizatsiya system [Tekst] pidruchnyk:/ V. M. Dubovoy, R. N. Kvyetnyy, O. I. Mykhaylov, A. V. Usov. – Vinnytsya: PP «TD Edel'veys», 2017 – 804s.
16. Spravochnyk po proektyrovanyu élektrycheskykh setey / pod. red, D. L. Faybysovycha – 3e yzd. Pererayu y dop. – М.: ÉNAS, 2009 – 392s.
17. Lezhnyuk P. D. Metody i zasoby zakhystu vid obryvu provodu ta poshuk mistysya poshkodzhennya v rozpodil'niy merezhi zi skladnoyu topolohiyeyu napruhoju 6 - 35 kV : monohrafiya / P. D. Lezhnyuk, M. V. Kutina; Vinnyts. nats. tekhn. un-t. - Vinnytsya : VNTU, 2014. - 151 с
18. Структура балансу електроенергії в електричних мережах 0,38-154 кВ: меродики складання, аналізу скадових та нормування технологічних витрат електроенергії. України – К. – 2003. – 71

Рецензія/Peer review : 20.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

ГОНЧАРЕНКО Ю. П., КОВБАСЮК С.В., ПОЛЕЩУК І. І.,

Поліський національний університет

ТЕПТЯ В. В.,

e-mail: teptyavira@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-2792-0160

Вінницький національний технічний університет

ПРЯДКО В. А.

e-mail: vapyradko@gmail.com

Поліський національний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Дане наукове дослідження присвячене обґрунтуванню структури пристрою технічного стану розподільних електричних мереж. В роботі розглянуто будову пристрою діагностики технічного стану ліній електропередачі та запропонована його функціональна схема. В статті описано принцип роботи діагностичного пристрою згідно функціональної схеми. Розглянуто схему ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні основним діагностичним пристроєм та схема ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні допоміжним діагностичним пристроєм. Запропонований пристрій діагностування технічного стану розподільних електричних мереж оснований на способі обробки радіолокаційного сигналу з частотною модуляцією безперервної хвилі. На відміну від існуючих пристроїв, даний пристрій дозволяє забезпечити виявлення несправності на окремих ділянках розгалужених ЛЕП; має малу вихідну потужність; значне відношення С/Ш дає можливість діагностувати якість ЛЕП великої протяжності з великою кількістю розгалужених ділянок та покращити точність визначення параметрів. Необхідно для діагностування ЛЕП великої протяжності та з великим кількістю розгалужень, а також для дослідження ділянок місць неоднорідності з малими амплітудами відбитих сигналів. Діагностичний пристрій може стати основою для створення сучасного всеукраїнського диспетчерського пункту аналізу технічного стану та керування обладнанням електричних мережами лініями енергопостачання.

Ключові слова: технічний стан, розподільні електричні мережі, пристрій діагностування, повітряні лінії електропередачі.

Y. GONCHARENKO, S. KOVBASYUK, I. POLESCHUK

Polissya National University

V. TEPTYA

Vinnytsia National Technical University

V. PRYADKO

Polissya National University

APPROACHES OF PROBING SIGNAL TYPE DETERMINATION OF MEANS LOCAL PROBING FOR THIS STUDY IS DEVOTED TO SUBSTANTIATING THE STRUCTURE OF THE DEVICE OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS

The structure of the device for diagnostics of technical condition of power transmission lines is considered in the work and its functional scheme is offered. The article describes the principle of operation of the diagnostic device according to the functional diagram. The scheme of power lines with three branches and timestamps from known places with inhomogeneities in the sounding of the main diagnostic device and the scheme of power lines with three branches and timestamps from known places that have inhomogeneities in the sounding of auxiliary sounding are considered. The proposed device for diagnosing the technical condition of power distribution networks is based on the method of processing a radar signal with frequency modulation of a continuous wave. Unlike existing devices, this device allows you to detect faults in certain areas of branched transmission lines; has low output power. The use of a software-tuned radio station in the development and production of a diagnostic device significantly reduces material costs. It is necessary to diagnose high-voltage power lines with a large number of branches, as well as to study areas of inhomogeneity with small amplitudes of reflected signals. This paper substantiates the structure and principle of operation of the location sensing device for assessing the technical condition of electrical distribution networks in ice. The novelty is the use of special broadband signals for sounding and their optimal processing, in determining the location of damage (heterogeneity) in the branched overhead power lines, which are the basis of the diagnostic device of the transmission line. The diagnostic device can become a basis for the creation of the modern all-Ukrainian dispatching point of the analysis of a technical condition and management of the equipment of electric networks by power supply lines.

Keywords: probing signal, location probing method, diagnostics, overhead power lines.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Надійність електропостачання споживачів в складних погодних умовах зобов'язує електропостачальні структури постійно проводити моніторинг стану електричних мереж. Особливо актуальним являються режими при виникненні ожеледиці на провадах повітряних ліній.

Сьогодні застосовуються різні методи діагностування технічного стану розподільчих електричних мереж для виявлення ожеледиці. До них можна віднести такі як: візуальний огляд, метод акустичної емісії, вимірювання ваги провідів в одному або кількох прольотів лінії електропередачі, локаційний метод зондування.

В даній роботі обґрунтована структура та принцип роботи пристрою локаційного зондування для оцінки технічного стану розподільних електричних мереж при ожеледиці. Новизна полягає у використанні спеціальних ширококутових сигналів для зондування та їх оптимальна обробка, при визначенні місць пошкоджень (неоднорідності) в розгалужених повітряних ліній електропередачі, які являються основою діагностичного пристрою ЛЕП.

Склад пристрою діагностики технічного стану ліній електропередачі (ЛЕП)

На рис.1 показана функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП, яка в своєму складі має:

- Пристрій керування та синхронізації, призначений для управління всіх функціональних складових діагностичного пристрою в різних режимах роботи.

- Формувач М-послідовності.

Формує М-послідовності для формування модифікованого (Frequency-Modulated Continuous Wave radar) FMICW сигналу.

- Перемикач надвисокочастотного випромінювання (НВЧ) входу діагностичного пристрою - для захисту входу діагностичного пристрою від зондуючого сигналу та його відкриття при отримання відбитих сигналів.

- 2 генератора сигналу з лінійно-частотною модуляцією (ЛЧМ) з різним законом зміни частоти.

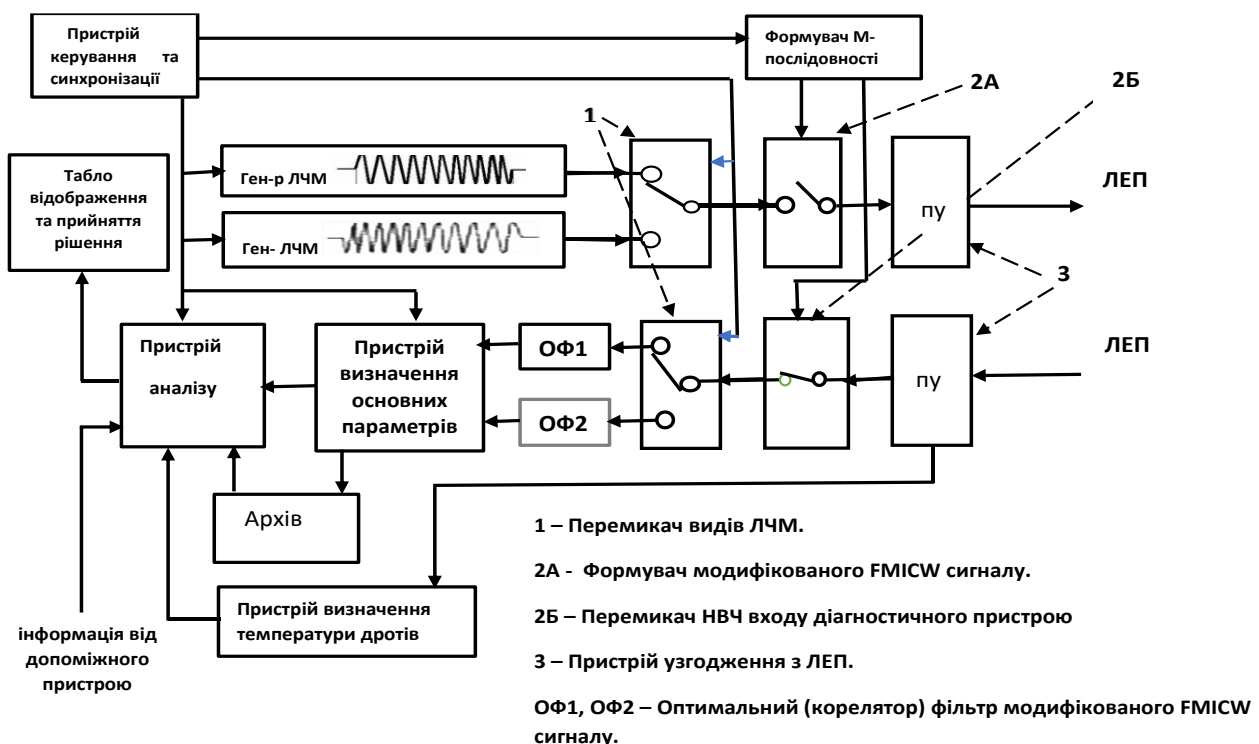


Рис. 1. Функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП

- 2 генератора ЛЧМ сигналу з різним законом зміни частоти.

- Табло відображення та прийняття рішення. Відображає технічний стан ЛЕП. При перевищенні допусків контрольованих параметрів видається звукова та візуальна сигналізація.

- Перемикач видів ЛЧМ сигналів – перемикає подачу ЛЧМ з різними законами зміни частоти при частотних вимірювань в умовах диспергуючого середовища ЛЕП [3].

- ПУ – пристрій узгодження з ЛЕП, призначений для з'єднання пристрою з ЛЕП, фільтрація сигналів.

- ОФ1, ОФ2 – оптимальна обробка сигналу (отримання автокореляційної функції, стиснення сигналу за часом).

- Пристрій визначення основних параметрів. Для кожного місця неоднорідності визначається час запізнювання відбитого сигналу та його амплітуда, а також, відношення значень амплітуд відбитих сигналів на вході та виході (початок та кінець) кожної ділянки.

- Пристрій аналізу, що порівнює отримані результати вимірювання з архівними даними, оцінює отримані результати (допуски), визначає технічний стан ЛЕП.

- Архів призначений для зберігання попередньої інформації.

- Пристрій визначення температури дротів ЛЕП, призначений для аналізу отриманих сигналів.

- Інформація від допоміжного пристрою необхідна для визначення місць неоднорідності, які знаходяться на розгалуженнях ділянках ЛЕП.

Робота діагностичного пристрою згідно функціональної схеми

Припустимо, що ми маємо ЛЕП довжиною 150 км, яка має три розгалуження. Знаємо всі місця неоднорідності, які притаманні цій ЛЕП, знаємо їх відстань часову та просторову від діагностичних пристроїв при нормальних умовах. Для основного діагностичного пристрою це – $\overline{Tr1}, T1, T2, T3, T4, T5, T6, Tr2$. Для допоміжного пристрою це – $\overline{Tr1}, T1, \dots, T6, \overline{Tr2}$. Кількість окремих ділянок, які визначаються місцями неоднорідності на вході та кінці представлена на рис. 1.2.

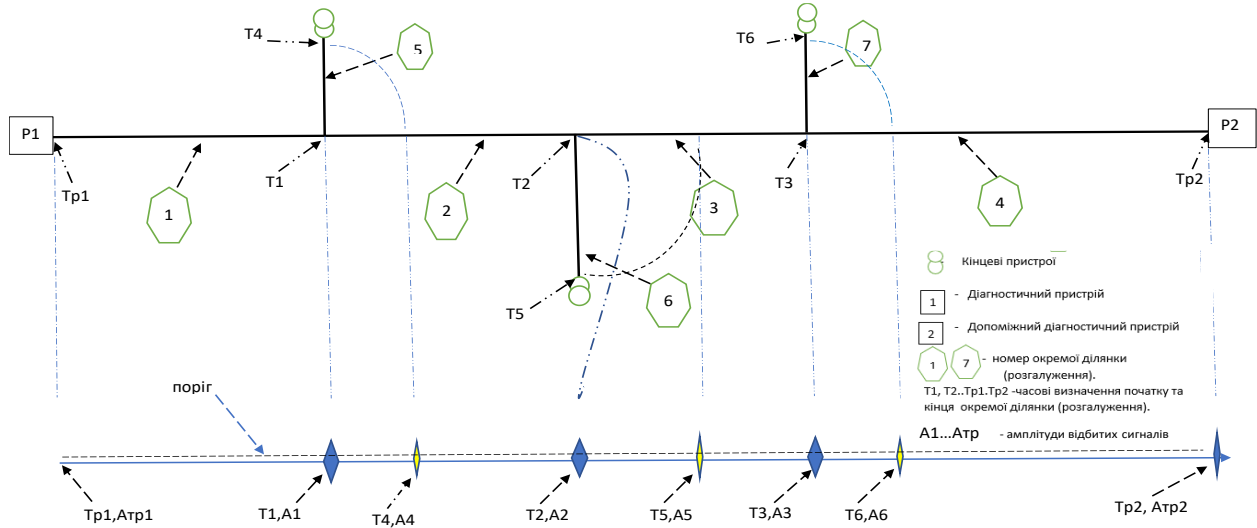


Рис. 2. Схема ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні основним діагностичним пристроєм

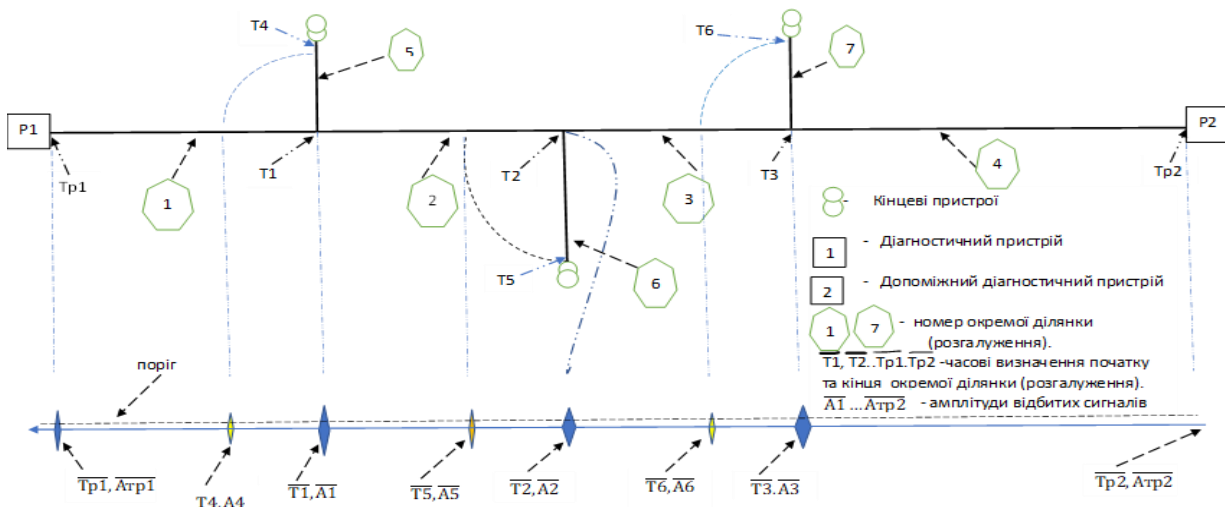


Рис. 3. Схема ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні допоміжним діагностичним пристроєм

Опираючись на алгоритм, який вказаний в [2] тривалість T_s зондуючого ЛЧМ повинна бути:

$$T_s \geq \frac{2 \cdot L'_{\max}}{C}, \tag{1}$$

де: L'_{\max} - час затримки відбитого сигналу від найбільш віддаленого місця неоднорідності до діагностичного пристрою для нашої схеми $\overline{Tr2}, \overline{Tr1}$, C – швидкість світла.

Тоді:

$$T_s \geq \frac{2 \cdot 150 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} = 10^{-3} (c).$$

Чим більше тривалість зондуючого сигналу тим більше відношення C/Π .
Візьмемо:

$$T_s = 1,5 \cdot 10^{-3} c.$$

Як вказано вище, що роздільна здатність за дальністю S_r визначається:

$$S_r = C/2B ,$$

де: C – швидкість світла, B – ширина смуги, а для нашого ЛЧМ сигналу значення девіації частоти.

Якщо візьмемо $S_r = 50$ м, то значення девіації частоти B буде дорівнювати:

$$B = C/2S_r = 3 \cdot 10^8 / (2 \cdot 50) = 3 \cdot 10^6 (Гц).$$

Визначимось з M -послідовністю. Алгоритм вказано в [28].

Знаємо що:

$$t_b < \tau < t_b(N_b - 1) \quad (2)$$

Де: t_b – часова тривалість одного біта в M -послідовності. τ – час затримки відбитого сигналу від місця неоднорідності. N_b – кількість бітів в M -послідовності.

Формула (7) допомагає визначити, де є сліпі зони в діапазоні прийняття відбитих сигналів від неоднорідності. Це на початку ЛЕП та на кінці лінії.

Щоб ліквідувати сліпу зону на кінці ЛЕП необхідно виконати вимоги формули (6). А це значить тривалість T_s зондуючого ЛЧМ повинна бути більшою ніж час затримки відбитого сигналу від найбільш віддаленого місця неоднорідності до діагностичного пристрою хоча на t_b . Що ми і зробили збільшив тривалість T_s зондуючого сигналу в 1,5 раз, що значно більше ніж t_b . Остається сліпа зона на початку ЛЕП. Знаючи з [2], що:

$$T_s = t_b N_b \quad (3)$$

То при постійній T_s та бажаній t_b можна визначити M -послідовність де:

$$N_b = T_s / t_b \quad (4)$$

Ми не можемо нескінченно зменшувати t_b , що приведе до стрімкого збільшення кількості бітів N_b у M -послідовності. Знаходимо компроміс, t_b обираємо рівним часовій відстані до першого розгалуження $T1$ (рис. 2, 3). Цей компроміс дозволить визначити місця неоднорідності на всіх розгалужених лініях. Тоді діагностичний аналіз першої ділянки будемо проводити за даними допоміжного діагностичного пристрою. Є і інші методи вирішення даної проблеми.

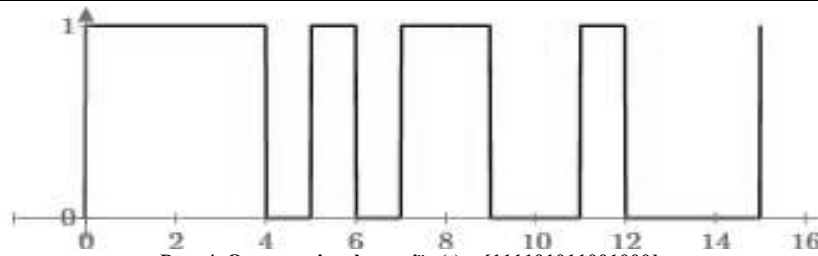
Припустимо що відстань між діагностичним пристроєм та першим розгалуженням 15 км тоді:

$$t_b = T1 = 2 \cdot 15 \cdot 10^3 / (3 \cdot 10^8) = 10^{-4} (c).$$

Тоді визначимо розрядність M – послідовності:

$$N_b = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{10^{-4}} = 15 .$$

Вигляд 15 бітової послідовності може бути $g(t) = [111101011001000]$ візуально показано на рис. 4.

Рис. 4. Один період функції $g(t) = [111101011001000]$

Розглянемо роботу діагностичного пристрою згідно функціональної схеми рис. 1, епорами рис. 5.

На початку роботи діагностичного пристрою в пам'ять (архів) вносяться початкові данні про ЛЕП.

Для основного діагностичного пристрою це час проходження сигналу від основного діагностичного пристрою до неоднорідності та назад – $\overline{Tr1}, T1, T2, T3, T4, T5, T6, Tr2$.

Для допоміжного пристрою – $\overline{Tr1}, T1, \dots, T6, Tr2$.

Визначаємо кількість окремих ділянок, які позначаються місцями неоднорідності на вході та виході (початок так кінець). Часовими позначками на рис. 2, 3 виділені сім ділянок, показані в таблиці 1.

При першому запуску діагностичного пристрою проводиться юстирування:

- Визначаються всі місця неоднорідності ЛЕП їх положення на цифровій карті, вводяться необхідні поправки.

- Вимірюються амплітуди відбитих сигналів всіх часових позначок: $A_{Tr1}, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A_{Tr2}$ основним діагностичним пристроєм $\overline{A_{Tr1}}, \overline{A1}, \overline{A2}, \overline{A3}, \overline{A4}, \overline{A5}, \overline{A6}, \overline{A_{Tr2}}$ допоміжним діагностичним пристроєм.

- Вираховується різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки (дивись Таблиця 1, стовб. 4. 5.)

- Вираховують відношення значень амплітуд відбитих сигналів від місць неоднорідності, які визначають кожну ділянку (дивись Таблиця 1, стовб. 6. 7).

- Визначають необхідні допуски для всіх вимірювань та параметрів.

- Всі ці дані вносяться в архів та стають еталонними.

Після юстирування, апаратура діагностування готова до роботи. Пристрій керування та синхронізації подає сигнали до генератора ЛЧМ де формується сигнал див рис. 5,а,б, та одночасно на формувач М- послідовності.

З виходу генератора ЛЧМ, сигнал поступає на перемикач видів ЛЧМ (вибирається в режимі частотних вимірювань в умовах диспергуючого середовища ЛЕП для уточнення вимірювання).

Далі з допомогою сигналів М – послідовності (див. рис. 5, г), які приходить від формувача М – послідовності, формується модифікований FMICW сигнал (рис. 5, д).

Далі через пристрій узгодження потрапляє у ЛЕП. У складі пристрою узгодження може бути керований підсилювач потужності.

Таблиця 1

Номера ділянки та їх часові позначки

Номер ділянки ЛЕП	Часові позначки для основного діагностичного пристрою (Рис.15)	Часові позначки для допоміжного діагностичного пристрою (Рис.16)	Різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки основного діаг-го пристрою	Різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки допоміжного діаг-го пристрою	Відношення значень амплітуд основного діагностичного пристрою	Відношення значень амплітуд допоміжного діагностичного пристрою
1	2	3	4	5	6	7
1	$\overline{Tr1}, T1.$	$\overline{T1}, \overline{Tr1}$	$\Delta L1 = \overline{Tr1} - T1.$	$\overline{\Delta L1} = \overline{T1} - \overline{Tr1}$	$K1 = A_{Tr1}/A1$	$\overline{K1} = \overline{A1}/\overline{A_{Tr1}}$
2	$T1, T2.$	$\overline{T2}, \overline{Tr1}$	$\Delta L2 = T1 - T2.$	$\overline{\Delta L2} = \overline{T2} - \overline{Tr1}$	$K2 = A1/A2$	$\overline{K2} = \overline{A2}/\overline{A1}$
3	$T2, T3.$	$\overline{T3}, \overline{Tr2}$	$\Delta L3 = T2 - T3.$	$\overline{\Delta L3} = \overline{T3} - \overline{Tr2}$	$K3 = A2/A3$	$\overline{K3} = \overline{A3}/\overline{A2}$
4	$T3, Tr2.$	$\overline{Tr2}, \overline{T3}$	$\Delta L4 = T3 - Tr2.$	$\overline{\Delta L4} = \overline{Tr2} - \overline{T3}$	$K4 = A3/A_{Tr2}$	$\overline{K4} = \overline{A_{Tr2}}/\overline{A3}$
5	$T1, T4.$	$\overline{T1}, \overline{Tr4}$	$\Delta L5 = T1 - T4.$	$\overline{\Delta L5} = \overline{T1} - \overline{Tr4}$	$K5 = A1/A4$	$\overline{K5} = \overline{A1}/\overline{A4}$
6	$T2, T5.$	$\overline{T2}, \overline{Tr5}$	$\Delta L6 = T2 - T5.$	$\overline{\Delta L6} = \overline{T2} - \overline{Tr5}$	$K6 = A2/A5$	$\overline{K6} = \overline{A2}/\overline{A5}$
7	$T3, T6.$	$\overline{T3}, \overline{T6}$	$\Delta L7 = T3 - T6.$	$\overline{\Delta L7} = \overline{T3} - \overline{T6}$	$K7 = A3/A6$	$\overline{K7} = \overline{A3}/\overline{A6}$

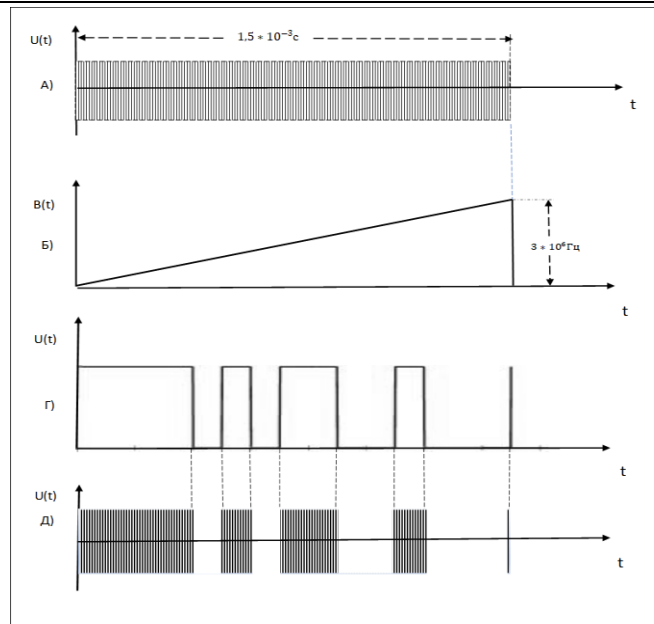


Рис. 5. Епюри формування модифікованого FMICW сигналу діагностичного пристрою

Сигнал, який поступив в ЛЕП відбивається від всіх місць неоднорідності і через пристрій узгодження поступає на перемикач НВЧ входу діагностичного пристрою для захисту входу від зондуємого сигналу та його відкриття при отримання відбитих сигналів. Через перемикач видів ЛЧМ поступає на ОФ1 (ОФ2) (де відбувається, як правило цифрова оптимальна (кореляційна) обробка сигналів). Після стиснення, на виході ОФ1, функціонально, має вигляд як показано на рис. 2. Імпульси, амплітуда яких перевищує заданий поріг, поступають до пристрою визначення основних параметрів.

На першому етапі проходить визначення часових та амплітудних позначок сигналів, які вище за поріг, а також порівняння сформованого кадру з попереднім, який надходить від архіву, як у основного діагностичного пристрою так і допоміжного. Якщо кадри ідентичні то приймають рішення про справність ЛЕП яка контролюється.

На другому етапі. Якщо, знайдена невідповідність то зразу знаходиться місце невідповідності на ЛЕП способом, який вказаний в [5]. Далі проходить уточнення:

- Наявність часових основних позначок прийнятих діагностичними пристроями з еталонними. По відсутності одної чи більше визначається місце КЗ (коротке замикання) чи обрив дротів ЛЕП.

- Вимірюються різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки ($\Delta L1, \dots, \Delta L7, \overline{\Delta L1}, \dots, \overline{\Delta L7}$), відношення, амплітуд ($K1, \dots, K7, \overline{K1}, \dots, \overline{K7}$) основного та допоміжного діагностичних пристроїв та порівнюються з еталонном.

Пристрій аналізу для кожної ділянки розгалуженої ЛЕП визначає, всі нові неоднорідності. Результати отримані в пристрої аналізу передаються на табло відображення та прийняття рішень. Розглянемо алгоритм роботи діагностичного пристрою на прикладі віртуальної ЛЕП, яка представлена на рис. 2, 3, 6, 7. На рис. 6, 7. Показана схема ЛЕП, де на одній з ділянок з'явилося місце з неоднорідністю, відмітка показана, як Ta та \overline{Ta} . На першому етапі проходить визначення часових та амплітудних позначок сигналів, які вище за поріг, а також порівняння сформованого кадру з попереднім, який надходить від архіву, як у основного діагностичного пристрою так і допоміжного. Визначили, що часові позначки Ta та \overline{Ta} не ідентифікувалися з попереднім кадром. Далі згідно [5] визначається місце несправності. Так, як $\overline{Tp1}$ та $Tp2$ дорівнюють часу проходження зондуємого сигналу по всій довжині ЛЕП якщо:

$$Ta + \overline{Ta} = \overline{Tp1} = Tp2 ,$$

тоді несправність знаходиться на основній лінії передачі, а якщо:

$$Ta + \overline{Ta} \geq \overline{Tp1} = Tp2 ,$$

тоді несправність знаходиться на розгалуженні.

Найдемо часову мітку розгалуження:

$$Tx = \left[\overline{Tp1} - (Ta + \overline{Ta}) \right] / 2 + Ta;$$

або:

$$Tx = \left[Tp2 - (Ta + \overline{Ta}) \right] / 2 + \overline{Ta}.$$

Після порівняння з попереднім кадром приходимо до висновку, що часова відмітка відповідає: $Tx = T1$ і несправність знаходиться на п'ятій ділянці і часова відстань від головного діагностичного пристрою дорівнює Ta , а від допоміжного \overline{Ta} . Далі аналізуються відношення амплітуд відбитих сигналів країв розгалуження та різницю часових відміток країв визначеної ділянки.

Якщо $T4 - T1 > \Delta L5$, та $A1/A4 > K5$ це є ознака ожеледиці на ділянці 5.

А коли $T4 - T1 = \Delta L5$ та $A1/A4 > K5$ то це може бути:

- ✓ перекриття на дерево-чагарникову рослинність, падіння дерев, сучків на дроти;
- ✓ пожежі на трасі та поблизу повітряної лінії;
- ✓ сторонні дії, вандалізм;
- ✓ недоліки експлуатації;
- ✓ пробій ізоляторів;
- ✓ падіння опор та інше.

Відсутність основних часових позначок показує КЗ або обрив дротів ЛЕП. Місце знаходження несправності своєчасно визначає діагностичний пристрій.

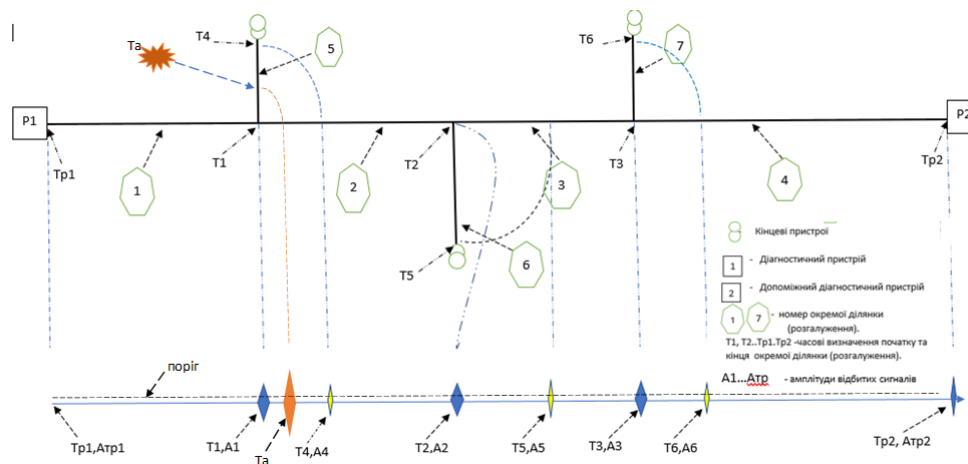


Рис. 6. Схема ЛЕП при виникненні несправності на п'ятій ділянці з відмітками місць неоднорідності при зондуванні основним діагностичним пристроєм

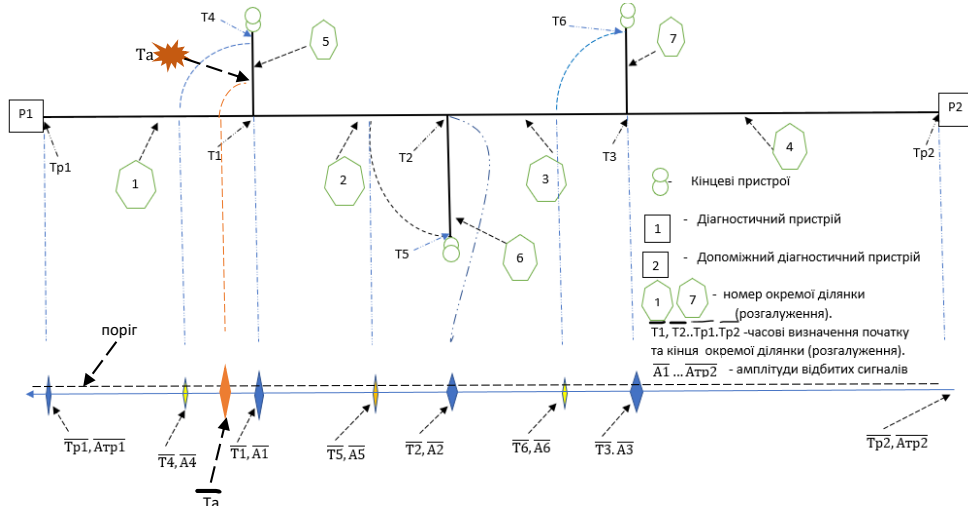


Рис. 7. Схема ЛЕП при виникненні несправності на п'ятій ділянці з відмітками місць неоднорідності при зондуванні допоміжним діагностичним пристроєм

Порівняльні характеристики DiLin (система моніторингу технічного стану повітряних ліній електропередачі) та пропонованого до розробки діагностичного пристрою.

Система марки DiLin призначена для організації стаціонарного моніторингу та оцінки технічного стану ЛЕП [6].

Система DiLin базується на комплексному застосуванні кількох діагностичних методів, що ґрунтуються на використанні аналізу особливостей поширення високочастотних імпульсів уздовж проводів ЛЕП.

Основні діагностичні методи DiLin:

- Хвильовий метод, що контролює швидкість і згасання хвилі електромагнітного поля в лінії. Для контролю цих параметрів в лінію інжектуються імпульси від тестового генератора.
- Метод аналізу рефлектограм, заснований на реєстрації імпульсів, відбитих від ділянок ЛЕП із локально зміненими електромагнітними властивостями. Цей метод також базується на аналізі реакції лінії на тестові імпульси.
- Моніторинг розрядної активності у лінії, що дозволяє контролювати практично всі види імпульсних процесів.
- Локація місць виникнення дефектів лінії за різницею часу приходу імпульсів від розрядів до різних кінців лінії.
- Оперативний прямий контроль температури проводів ЛЕП із використанням бездротових датчиків температури.

Таблиця 2

Технічні характеристики системи DiLin

Параметр	Значення
Довжина лінії, км	5 – 200
Напруга лінії, кВ	від 6
Кількість контрольованих ліній, шт.	до 2
Амплітуда тестових імпульсів, мВ	до 600
Тривалість тестових імпульсів, мкс	до 500
Розміри захисної шафи, мм	500x700x250
Напруга живлення АС/DC, В	120 – 240
Температура експлуатації, °С	-50 – +50

Для кращого налаштування від перешкод послідовно вводяться кілька імпульсів в лінію, що дозволяє усереднено їх статистичними методами (нажаль немає інформації щодо кількості). Якщо амплітуда тестових імпульсів $U_c = 600$ (В), а середній хвильовий опір $Z_B = 600$ (Ом) то потужність сигналу на виході системи буде:

$$P_c = \frac{U_c^2}{Z_B} = \frac{600^2}{600} = 600 \text{ (Вт)}.$$

Оцінімо сигнал зондування для нашого діагностичного пристрою якій має:

$$T_s = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}, \quad B = 3 \cdot 10^6 \text{ (Гц)}.$$

То відношення С/Ш після оптимальної фільтрації покращиться відносно вузькосмугового у:

$$SNR = T_s \cdot B = 4500 \text{ (раз)}.$$

А з врахуванням [2] того, що сигнал модулюється М-послідовністю то значення зменшується у чотири рази тоді:

$$SNR = 1250.$$

Іншими словами, якщо вихідна потужність пристрою буде дорівнюватись 10 Вт – еквівалента потужність буде дорівнювати 12.5 кВт. (Еквівалентна потужність це потужність вузькосмугового сигналу яка необхідна для досягнення тих характеристик, що і при використанні широкосмугового сигналу). Якщо використати сигнал потужністю 600 Вт то еквівалента потужність вихідного буде дорівнювати 750 кВт. Еквівалентну потужність можна збільшувати за рахунок когерентного накопичення сигналу, збільшення тривалості сигналу T_s , девіації частоти В, використання інших методів локації. Це необхідно для діагностування ЛЕП великої протяжності та з великим кількості розгалужень, а також для дослідження ділянок місць неоднорідності з малими амплітудами відбитих сигналів. Система DiLin використовує вузькосмуговий сигнал потужність якого 600 Вт тому і еквівалентна потужність дорівнює 600 Вт. Для збільшення відношення С/Ш застосовується накопичення сигналів. Використовується тільки для ЛЕП без розгалужених ділянок. Довжина лінії яка контролюється системою до 200 км. Якщо, діагностичний пристрій використовує сигнал потужністю 10 Вт, то еквівалентна потужність буде дорівнювати 12.5 кВт, а при потужності 600 Вт еквівалентна потужність буде дорівнювати 750 кВт. Що значно збільшує точність виміру необхідних характеристик, довжину контрольованої ЛЕП. Виходячи з вище сказаного, діагностичний пристрій значно перевищує технічні характеристики система DiLin, та на відміну від DiLin, діагностичний пристрій спроможний діагностувати ЛЕП з розгалуженими ділянками.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропонований пристрій діагностування технічного стану розподільних електричних мереж оснований на способі обробки радіолокаційного сигналу з частотною модуляцією безперервної хвилі (FMICW) [1], який модифікований згідно [2] та [5] за своїми технічними характеристиками значно кращий ніж сучасні аналоги це:

- виявлення несправності на окремих ділянках розгалужених ЛЕП;
- мала вихідна потужність;
- значне відношення С/Ш дає можливість діагностувати якість ЛЕП великої протяжності з великою кількістю розгалужених ділянок та покращити точність визначення параметрів;
- діагностичний пристрій може стати основною клітиною для створення сучасного всеукраїнського диспетчерського пункту аналізу технічного стану та управління лініями енергопостачання.

Література

1. Портативний цифровий іонозонд DPS-4. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovij-ionozond-dps-4/>
2. Елсуков О. О. Однопозиционная система частотного обеспечения ближней декаметровой связи на основе технологии программно-конфигурируемого радио : дис. ... канд. тех. наук : 01.02.04 Елсуков Алексей Александрович – Йошкар-Ола, 2015. – 135 с.
3. WO2003044560A1. Method for processing a frequency modulated interrupted continuous wave (fmicw) radar signal [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/WO2003044560A1/en>
4. Петрухин А. А. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Совершенствование методов и технических средств определения мест поврежденных воздушных ЛЭП 6-35 кВ: дис. ... канд. тех. наук : – Иваново, 2009. – 135 с.
5. Пат. на винахід №121486 України. МПК (2020) С2 13 Спосіб визначення місця пошкодження розгалуженої лінії електропередачі з декількома джерелами живлення / О.В. Андреев, П.П. Мартинчук, І.І. Полещук, М.Ф. Хоменко; заявник і патентовласник Житомирський державний технологічний університет. – № а 2017 05212 ; заяв. 10.11.2017; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 21. – 5 с.
6. DiLin – Overhead Power Line Monitoring System. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://dimrus.com/dilin_e.html
7. Рубаненко О. О. Аналіз роботи ВДЕ в розподільних мережах та шляхи компенсації їх нестабільності./ О.О. Рубаненко, В.П. Янович, І.О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019.– № 5. – С. 176–179.
8. Матвієнко С. В. Моніторинг технічного стану електричних мереж з ізолюваною нейтраллю на основі розподіленої системи RC-фільтрів з обмежувачами перенапруг та телеметрією напруг./ С.В. Матвієнко, В.П. Янович, О.О. Рубаненко, В.В. Явдик // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. – № 2. – С. 48 – 53.

References

1. Portativnyj cifrovij ionozond DPS-4 [Electronic resource]: [Access]. – Rezhim dostupu: <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovij-ionozond-dps-4/>– (Data zvernennya 30.01.2022). – Nazva z ekrana.
2. Elskov O.O. Disertaciya na zdobuttya naukovogo stupenya kandidata tehnicnih nauk. “Odnopozicionnaya sistema chastotnogo obespecheniya blizhnej dekametrovoj svyazi na osnove tehnologii programmno-konfiguriruемого radio”, 2015.
3. WO2003044560A1. Method for processing a frequency modulated interrupted continuous wave (fmicw) radar signal [Electronic resource]: [Access]. – <https://patents.google.com/patent/WO2003044560A1/en>
4. Petruhin A. A. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. Sovershenstvovanie metodov i tehniceskikh sredstv opredeleniya mest povrezhdenij vozдушnyh LEP 6-35 kV: dis. ... kand. teh. nauk : – Ivanovo, 2009. – 135 s.
5. Pat. na vynahid №121486 Ukrainy. MPK (2020) S2 13 Sposib vyznachennia mistsia poshkodzhenia rozgaluzhenoi linii elektroperedachi z dekil'koma dzherelamy zhyvlennia / O.V. Andreiev, P.P. Martynchuk, I.I. Poleschuk, M.F. Khomenko; zaiavnyk i patentovlasnyk Zhytomirskiy derzhavnyi tekhnolohichnyi universytet. – № a 2017 05212 ; zaiav. 10.11.2017; opubl. 10.06.2020, Biul. № 21. – 5 s.
6. DiLin – Overhead Power Line Monitoring System. [Electronic resource]: [Access]. – Режим доступу: https://dimrus.com/dilin_e.html
7. Rubanenko O.O. Analiz roboty VDE v rozpodilnykh merezhakh ta shliakhy kompensatsii yikh nestabilnosti./ O.O. Rubanenko, V.P. Yanovych, I.O. Hunko // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2019. – № 5. – S. 176–179.
8. Matviienko S. V. Monitorynh tekhnichnoho stanu elektrychnykh merezh z izolovanoiu neitralliu na osnovi rozpodilenoї systemy RC-filtriv z obmezhuвачamy perenapruh ta telemetriieiu napruh./ S.V. Matviienko, V.P. Yanovych, O.O. Rubanenko, V.V. Yavdyk // Zbirnyk naukovykh prats VNAU: Seriiа tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2018. – № 2. – S. 48 – 53.

Рецензія/Peer review : 08.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-168-174

УДК 681.325

ВОЗНА Н. Я.

ORCID ID: 0000-0002-8856-1720

e-mail: nvozna@ukr.net

МАКОГІН В. Б.

e-mail: vovamakogin@gmail.com

Західноукраїнський національний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТРУКТУРИЗАЦІЇ МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ У РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ

Дана робота присвячена вирішенню наукової задачі розвитку теорії та методології спектрального аналізу у процесах формування, перетворення, передавання, цифрового опрацювання та представлення інформації на основі математичних засад у різних теоретико-числових базисах. Можливість узагальнення теорії та методології структуризації поліфункціональних даних і переходу від одних спектрів до інших забезпечує основу для ефективного аналізу, оцінювання та опрацювання інформації.

Ключові слова: структуризація, спектральний аналіз, поліфункціональні дані.

VOZNA NATALIYA, MAKOGIN VOLODYMYR

West Ukrainian National University

THEORETICAL FUNDAMENTALS OF STRUCTURING THE METHODS OF SPECTRAL ANALYSIS IN DIFFERENT NUMBER SYSTEMS

This paper deals with solving the scientific problem of developing the theory and methodology of spectral analysis of the processes of generation, conversion, transmission, digital processing and presentation of information based on mathematical principles in various number systems.

Theoretical foundations of data structuring in the processes of generation, conversion, transmission, digital processing and presentation of information based on mathematical principles of different code systems make the study of spectral analysis in this area a promising task, as almost all fields of modern civilization are closely connected with the informatization of society and the corresponding structuring of information flows. The possibility of generalizing the theory and methodology of structuring multifunctional data and the transition from one spectrum to another provides a basis for effective analysis, evaluation and processing of information. Spectral analysis is applied to algorithmic solutions when performing measurements, generating data codes in different code systems, number systems and conducting specialized transformations over information flows.

The analysis of the existing experience of data structuring, methodology of structural organization of spectra and the creation of processors for computer systems using the Rademacher number system, which generates a binary number system, shows the tendency to increasing use of other number systems, including the unitary one, Haar, Chrestenson and Galois systems. The implementation of specialized, signal, switching and problem-oriented digital data processors is often carried out on the basis of the combined use of the above mentioned number systems.

In this regard, a problem of in-depth study of the theory and methods of spectral analysis and the characteristics of the code systems of "non-Rademacher" number systems and the limits of their use for the implementation of components of both specialized and universal processors arises.

Keywords: structuring, spectral analysis, multifunctional data.

Постановка проблеми у загальному вигляді**та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Теоретичні основи структуризації даних у процесах формування, перетворення, передавання, цифрового опрацювання та представлення інформації на основі математичних засад різних кодових систем викреслюють дослідження спектрального аналізу в даній галузі перспективною задачею, оскільки практично всі напрямки розвитку сучасної цивілізації тісно пов'язані з інформатизацією суспільства та відповідною структуризацією інформаційних потоків [1, 2].

Можливість узагальнення теорії та методології структуризації поліфункціональних даних і переходу від одних спектрів до інших забезпечує основу для ефективного аналізу, оцінювання та опрацювання інформації, що є важливою науковою задачею.

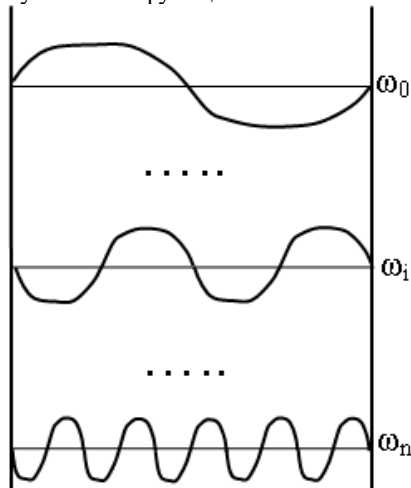
Спектральний аналіз стосується методів алгоритмічних рішень при виконанні вимірювань, формування кодів даних у різних кодових системах, системах числення та спеціалізованих перетворень над інформаційними потоками.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є: дослідження спектрів у теоретико-числових базисах: Фур'є, Унітарному, Радемахера, Крестенсона. Можливість структуризації інформації і переходу від одних спектрів до інших забезпечує основу для ефективного аналізу, оцінювання та опрацювання інформації.

Виклад основного матеріалу

1. Характеристика системи ортогональних функцій ТЧБ Фур'є. Теоретико-числовий базис (ТЧБ) Фур'є широко застосовується для опрацювання даних у часовій, комплексній та спектральній областях, в той же час даний базис на основі гармонічних функцій не породжує системи числення, що ускладнює рішення широкого класу задач на основі дискретної математики, тобто потребує розкладу ортогональних косинусоїдальних функцій у ряди Фур'є, Маклорена та Тейлора. Такі характеристики базису Фур'є (рис.1) ускладнюють алгоритми рішення задач цифровими мікропроцесорними засобами [3]. Тому сучасні алгоритми цифрового опрацювання сигналів побудовані на математичній основі дискретних ступінчатих функцій.



$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)),$$

$\omega = 2\pi/T$ - колова частота основної гармоніки з періодом T ;

a_k і b_k - коефіцієнти ряду Фур'є:

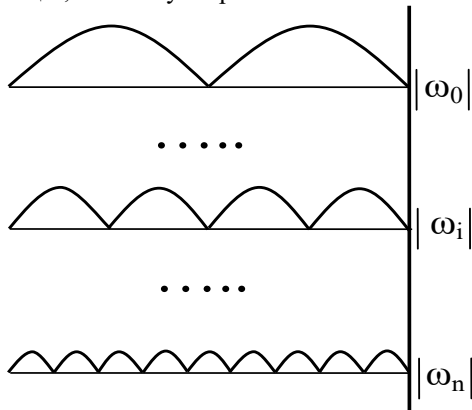
$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(k\omega t) dt, (k = \overline{1, \infty});$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(k\omega t) dt, (k = \overline{1, \infty}).$$

$$\int_0^T x_i(t) \cdot x_j(t) = 0$$

Рис. 1. Функції базису Фур'є

Представлення функцій базису Фур'є у модульному просторі дозволяє представити базисні функції не в діапазоні (± 1) , а в діапазоні $(0,1)$. В результаті отримують систему не ортогональних гармонічних функцій, показану на рис.2.



$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)),$$

$\omega = 2\pi/T$ - колова частота основної гармоніки з періодом T ;

a_k і b_k - коефіцієнти ряду Фур'є:

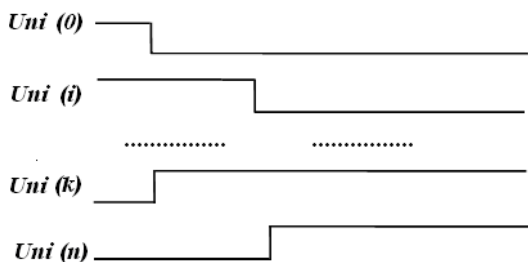
$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(k\omega t) dt, (k = \overline{1, \infty});$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(k\omega t) dt, (k = \overline{1, \infty}).$$

Рис. 2. Система модульних гармонічних функцій базису Фур'є

Число-імпульсні коди широко застосовуються в цифровій вимірювальній техніці при побудові частотомірів, сенсорів з частотномодульованими вихідними імпульсними потоками, число-імпульсних спеціалізованих процесорів функціонального опрацювання інформаційних потоків та цифрових фільтрів. [3,4].

2. Характеристика системи ортогональних функцій унітарного ТЧБ. Для подання унітарних кодів використовуються унітарні функції (рис.4) [3]



$$Uni(m, \theta, i) = \text{sign}(\sin(2^m \pi (\theta + i \cdot 2^{-n})))$$

$$m = 0, 1, \dots, n + 1$$

де $n = \log_2 N$; N - модуль цілочислових дискретних значень системи;

$\theta = t/T$; $(0 \leq \theta < 1)$ - нормований параметр часу;

$T = 2\pi$; t - потокове значення часу; $0 \leq t < 2\pi$;

$i = 0, 1, \dots, 2^{n-m+1} - 1$ - порядковий номер функції в наборі порядку m .

Рис.4. Функції унітарного ТЧБ

Система з перших N унітарних функцій порядку $m \in \mathbb{N}$ є лінійно незалежною, оскільки виконується достатня умова лінійної незалежності: ранг матриці N функцій дорівнює кількості функцій N . Наступні N функцій є лінійними комбінаціями N перших.

$$\int_0^1 \text{Uni}(m, \theta, i) \text{Uni}(k, \theta, j) d\theta \neq 0.$$

В той же час, шляхом диференціювання системи функцій унітарного ТЧБ забезпечує їх представлення у вигляді системи імпульсних ортогональних функцій.

Дана властивість системи унітарних функцій зумовлює некомпактне пакування кодових елементів системи, що приводить до значної надлишковості інформаційних потоків, які утворюють унітарну систему числення та унітарні коди.

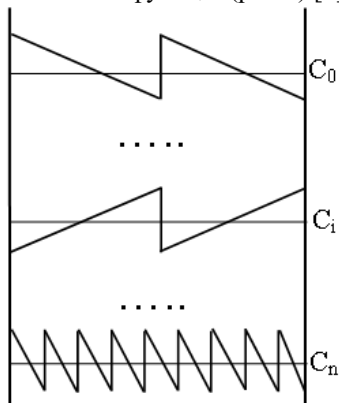
Породжуючу кодову матрицю унітарного коду розмірності $N \times N$ одержують при дискретизації з інтервалом $1/N$ за параметром часу перших $N=2n$ із системи $2N$ унітарних функцій та здійсненні бінарної заміни значень функцій 1 на 0, -1 на 1 в точках $\theta_s = s/2^n$, $s = 0, 1, \dots, 2^n - 1$, яка реалізується за допомогою операції $u_i = (1 - \text{Uni}(0, \theta_s, 2^n - 1 - i))/2$, де $u_0, u_1, \dots, u_i, \dots, u_{2^n - 1}$ - значення розрядів унітарного коду $\theta_s, i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$.

Для прикладу, при $n=3$ восьми функціям відповідають такі елементи кодової матриці:

$$\begin{aligned} \text{Uni}(0, \theta, 0) &\rightarrow 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ \text{Uni}(0, \theta, 1) &\rightarrow 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \text{Uni}(0, \theta, 2) &\rightarrow 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\ \text{Uni}(0, \theta, 3) &\rightarrow 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \text{Uni}(0, \theta, 4) &\rightarrow 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \text{Uni}(0, \theta, 5) &\rightarrow 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \text{Uni}(0, \theta, 6) &\rightarrow 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \text{Uni}(0, \theta, 7) &\rightarrow 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \end{aligned}$$

Наведені властивості системи унітарних функцій дозволяють визначити процедури міжбазисних перетворень. В ролі первинних при перетворенні форми інформації та при переході від N -розрядних унітарних до кодів з меншою розрядністю також використовуються розрядно-позиційні коди.

3. Характеристики ТЧБ Крестенсона. ТЧБ Крестенсона формується на основі системи пилоподібних ортогональних функцій (рис.6) [3].



$$N_k = \begin{cases} b_1 = \text{res} N_k \pmod{P_1} \\ b_2 = \text{res} N_k \pmod{P_2} \\ \dots \\ b_k = \text{res} N_k \pmod{P_k} \\ \dots \\ b_i = \text{res} N_k \pmod{P_i} \end{cases}; N_k = \text{res} \sum_{i=1}^k b_i \cdot B_i \pmod{P};$$

N_k - вектор коду даних у k -мірному просторі, $0 \leq N \leq P-1$;
 b_i - найменший невід'ємний залишок $N_k \pmod{P_i}$,
 $0 \leq b_i \leq P_i - 1$; B_i - система ортогональних базисів СЗК

Рис.6. Система пилоподібних ортогональних функцій ТЧБ Крестенсона

Система ортогональних базисів СЗК B_i , які задовольняють умови діагональної матриці:

$$\begin{array}{cccccc}
 P_1 & P_2 & \dots & P_i & \dots & P_k \\
 B_1 = & 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\
 B_2 = & 0 & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 B_i = & 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 B_k = & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1
 \end{array}$$

, тобто $\dots \dots \dots \dots \dots \dots$,

а значення B_i розраховуємо згідно рішення діофантового рівняння $B_i = \frac{P}{P_i} \cdot m_i \equiv 1 \pmod{P_i}$;

$$1 \leq m_i \leq P_i - 1; P = \prod_{i=1}^k P_i, i \in \overline{1, k}.$$

ТЧБ Крестенсона формується на основі системи пилоподібних ортогональних функцій (рис.6) [3]. Слід зауважити, що система ортогональних функцій базису Крестенсона відповідає системі фазових функцій ТЧБ Фур'є і породжує систему числення залишкових класів з набором взаємпростих модулів $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_k$, які відповідають взаємпростим періодам гармонічних функцій базису Фур'є.

Наприклад. Нехай $P_1 = 2, P_2 = 3, P_3 = 5$, тоді система ортогональних функцій базису Крестенсона має вигляд (рис.7):

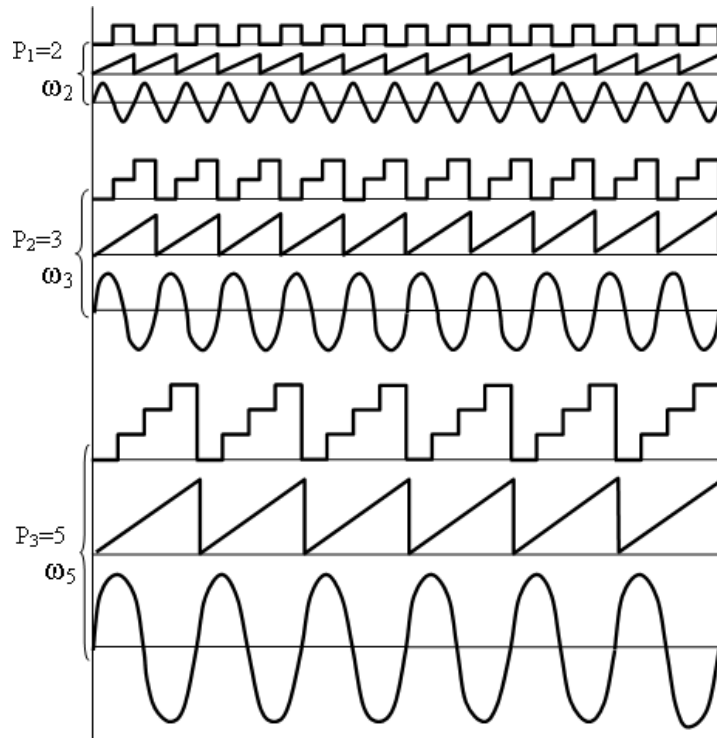
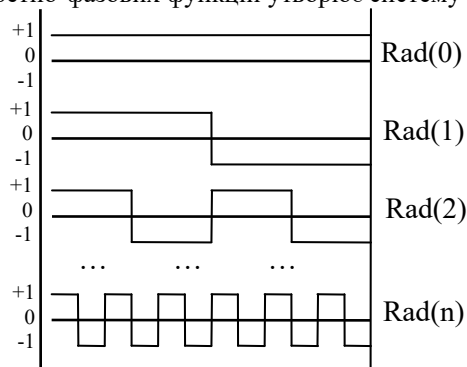


Рис.7. Система ортогональних функцій при $P_1 = 2, P_2 = 3, P_3 = 5$.

4. Характеристика ТЧБ Радемахера. Екстракція \sin -складових за кожним із порядків n набору дискретно-фазових функцій утворює систему функцій Радемахера [3] (рис.9).



$$\begin{aligned}
 Rad(n, \theta) &= \text{sign}(\sin(2^n \pi \cdot \theta)); \\
 \int_0^1 Rad(n, \theta) Rad(k, \theta) d\theta &= 0; \\
 \int_0^1 Rad(n, \theta) Rad(n, \theta) d\theta &= 1; \\
 \int_0^1 Rad(n, \theta) Rad(1, \theta) Rad(2, \theta) d\theta &= 0
 \end{aligned}$$

Рис.9. Ортогональні функції ТЧБ Радемахера

Система Радемахера є основою двійкової системи числення або двійкових кодів.

Відповідність між значеннями функцій у точках $\theta_s = s/2^n$, $s = 0, 1, \dots, 2^n - 1$ та їх поданням у двійковому коді $\theta_s = r_n r_{n-1} \dots r_0$ встановлюється співвідношенням: $r_k = (1 - Rad(n - k, \theta_s))/2$, де r_k - значення розрядів двійкового коду, $k = 0, 1, \dots, n$

Система Радемахера володіє наступними властивостями.

1. Функції Радемахера ортонормовані на відрізку $[0, 1]$, оскільки

$$\int_0^1 Rad(n, \theta) Rad(k, \theta) d\theta = 0 \quad \text{та} \quad \int_0^1 Rad(n, \theta) Rad(n, \theta) d\theta = 1.$$

2. Система функцій Радемахера утворює в просторі інтегрованих з квадратом функцій $L_2[0, 1]$ неповну систему ортонормованих функцій, оскільки для довільного n не виконується означення повноти системи:

$$\int_0^1 Rad(n, \theta) Rad(1, \theta) Rad(2, \theta) d\theta = 0,$$

тобто існує функція $Rad(1, \theta) Rad(2, \theta)$, яка тотожно не дорівнює нулю на інтервалі $[0, 1]$ та ортогональна до всіх функцій системи.

Неповнота системи Радемахера обмежує її застосування для подання інформаційних потоків на основі ортогональних перетворень [7]. Одночасно із широким застосуванням, творені за допомогою системи Радемахера двійкові коди, володіють недоліком, що полягає у неоднозначності формування відліків суміжних кодів при міжрозрядному позиціонуванні.

1.5 Характеристики ТЧБ Галуа. ТЧБ Галуа характеризується рекурентними властивостями і породжується системою ортогональних ступінчатих функцій базису Уолша, які можуть бути впорядковані по Пілі і по Качмажу (рис 10).

Властивості системи Радемахера та відповідних кодів визначають процедуру переходу в базис Уолша $Wal(i, \theta)$, $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$, впорядкований за Уолшем, із системи Радемахера $Rad(n, \theta)$. Функції Уолша $Wal(i, \theta)$ визначаються як добуток функцій Радемахера [8]:

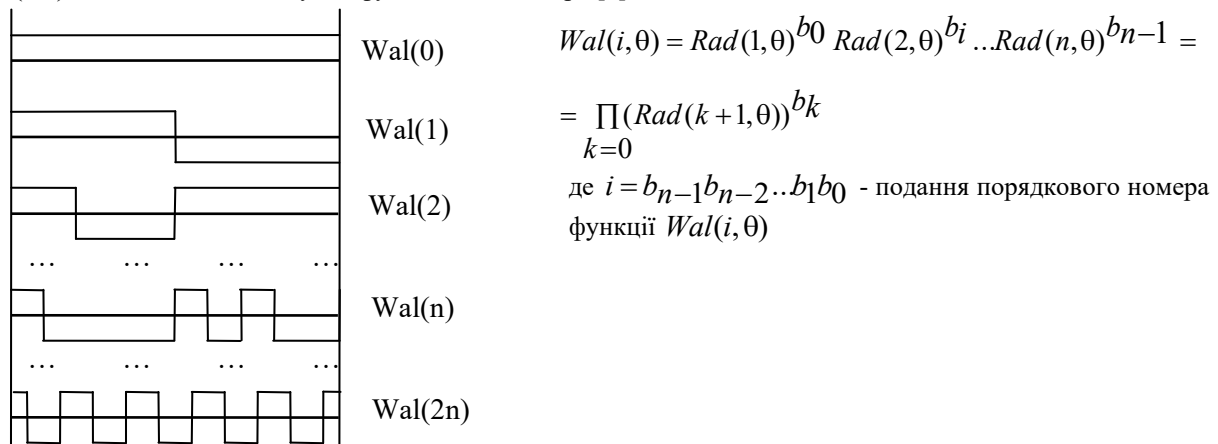


Рис.10. Система функцій Уолша

Тобто в середовищі ортогональних функцій Уолша існують такі окремі функції, які характеризуються рекурентними властивостями і породжують систему квазіортогональних функцій Галуа, добуток яких на інтервалі $(0, N)$ не перевищує ± 1 (рис.11).

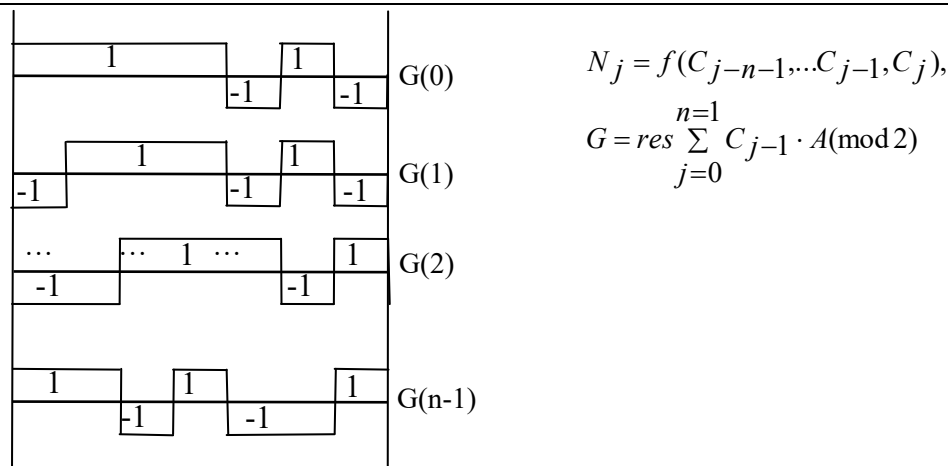


Рис.11. Система функцій Галуа

Кодова система ТЧБ Галуа широко застосовується при вирішенні задач шифрування інформації, передавання інформації з виявленням та виправленням помилок, стиснення інформації, побудови АЦП скануючого типу, побудови процесорів та асоціативної пам'яті з паралельним доступом на основі вертикальної інформаційної технології, створення сенсорів з біторієнтованими частотномодульованими потоками кодів поля Галуа.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Аналіз світового досвіду структуризації даних та створення процесорів для комп'ютерних систем з застосуванням ТЧБ Радемахера, який породжує двійкову систему числення, демонструє тенденцію все ширшого застосування інших ТЧБ, в тому числі: унітарного, Хаара, Крестенсона та Галуа. Реалізація спеціалізованих, сигнальних, комутаційних та проблемно-орієнтованих процесорів цифрової обробки даних часто виконується на базі сумісного використання комбінацій названих ТЧБ.

Перспективним напрямком розвитку теорії та технологій побудови спеціалізованих програмно-апаратних комп'ютерних засобів на основі різних методів структуризації даних є реалізація супершвидкодіючих мультибазисних RCG-процесорів на основі базисів Радемахера, Крестенсона і Галуа. Відомі успішні спроби розвитку теорії та техніки побудови матричних процесорів на основі двовимірних базисів Радемахера та Галуа, а також конвеєрних спецпроцесорів у базисі Галуа.

У зв'язку з цим існує проблема глибокого дослідження теорії, методів структуризації та характеристик кодових систем «нерадемахівських» ТЧБ та граничних можливостей їх застосування для реалізації компонентів як спеціалізованих, так і універсальних процесорів. При цьому перспективним, крім найбільш сьогодні масового одновимірного (векторного) представлення чисел та виконання арифметико-логічних операцій у базисі Радемахера перспективним є застосування двовимірних систем числення, вертикальної інформаційної технології у базисі Галуа та різних форм багатовимірного представлення чисел у вигляді залишків різних форм системи залишкових класів базису Крестенсона.

Література

1. Carl Adam Petri. Nets, time and space. Theoretical computer science, 153(12):3-48, 1996.
2. Локазюк В.М. Интеллектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навч. посіб. для вузів / В.М. Локазюк, О.В. Поморова, А.О. Домінов – Хмельницький: ТУП, 2001. – 286 с.
3. Зайцев Д.А. Инварианты часовых сетей Петри / Д.А. Зайцев // Кибернетика и системный анализ. - 2004. - № 2. - С.92-106
4. Нікольський Ю.В. Дискретна математика: Підручник / Ю.В. Нікольський, В.В. Пасічник, Ю.М. Щербина. – Львів: "Магнолія 2006", 2007. – 608 с.
5. Natalia Vozna Theory and methods of development of data flow models in distributed CS / N. Vozna // Advanced computer system and network: design and application: Proceedings of the 4-th international conference ACSN-2009. - Lviv, 2009. - P.304-307.
6. Возна Н.Я Теорія та методи побудови моделей руху даних у розподілених КС // Вісник НУЛП "Комп'ютерні системи та мережі", 2010. - №688. – С.60-64.
7. Бойченко О.В. Швидкодійні багатододанкові суматори комбінаційного типу / О.В. Бойченко, Я.І. Торшанко // Міжвузівський збірник "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво", 2011 - №3. – С.20-24.
8. Карцев М.А. Арифметика цифровых машин / М.А.Карцев – М.: Наука, 1969 – 576с.
9. Майоров С.А. Принципы организации цифровых машин / С.А. Майоров, Г.И. Новиков - . Л.: Машиностроение, 1974. – 432 с.
10. Черкаський М.В. Аналіз складності пристроїв помноження / М.В.Черкаський, Мурад Хусейн Халіл // Вісник НУЛП "Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика" – Львів: Національний

університет "Львівська політехніка", 2005. - №548. - С.15-21.

11. Мельник Р.А. Алгоритми та методи опрацювання зображень: навч. посібник / Р.А.Мельник. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. - 220 с.

12. James Martin. Design and strategy for distributed data processing / J. Martin - NJ: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 1990 - 672 p.

13. Пітух І. Принципи побудови комп'ютерних мереж з глибоким розпаралелюванням інформаційних потоків на основі матричних моделей руху даних / І. Пітух, Я. Николайчук, Н. Возна // Вісник НУЛП "Радіоелектроніка та телекомунікації". - Львів, 2004. - №508. - С. 263-268.

14. Глухов В.С. Оцінка структурної складності багатосекційних помножувачів елементів полів Галуа / В.С. Глухов, Г.М. Триш // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі". - Львів, 2014. - Вип.806. - С.27-33.

15. Возна Н.Я. Основи теорії структуризації поліфункціональних елементів складних систем // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, 2015.- №2 (223). - С.204-208.

16. Возна Н.Я. Формалізація моделей руху даних розподілених комп'ютерних систем та оцінювання їх структурної складності // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім.І.Пулюя, 2011. - №1. Т.16. - С.167-179.

17. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Я.М. Николайчук - Тернопіль: ТзОВ "Терно-граф", 2010. - 536 с.

18. Шило В.Л. Популярныe цифрове микросхемы: Справочник - 2-е изд., исправленное / В.Л.Шило - М: Радио и связь, 1989. - 352 с.

19. Пат.115861 Україна МПК (2006) G06F 7/00 Однорозрядний напівсуматор / Давлетова А.Я., Николайчук Я.М. №u201612463; заявл.07.12.2016; опубл.25.04.2017, Бюл. №8/2017.

20. Пат. 132520 Україна МПК G06F 7/52 (2006.01) Матричний перемножувач / Давлетова А.Я., Грига В.М., Николайчук Я.М. №u20181030; заявл.17.10.2018014; опубл.25.02.2019, Бюл. №4/2019.

21. Пат. 124563 Україна МПК G06F 7/00 (2018.01) Повний однорозрядний суматор / Николайчук Я.М., Грига В.М.,Возна Н.Я., Давлетова А.Я. № u 2017 11720 заявл.30.11.2017; опубл.10.04.2018, Бюл. №7/2018.

22. Пат.132145 Україна МПК G06F 7/00 (2018.01) G06F 7/40 (2006.01) Різницево-модульний квадрататор / Сидор А.І., Николайчук Я.М., Возна Н.Я. № u 2018 09550 заявл.24.09.2018; опубл.11.02.2019, Бюл. №3/2019.

References

1. Carl Adam Petri. Nets, time and space. Theoretical computer science, 153(12):3-48, 1996.
2. Lokazyuk V.M. Intelektualne diagnostuvannya mikroprocesornykh pristoiv ta system: Navch.posibnyk dlya vuziv / V.M. Lokazyuk, O.V. Pomorova, A.O. Dominov - Khmelnytskyi: TUP, 2001. - 286 s.
3. Zaycev D.A. Invarianty chasovych meresh Petri / D.A. Zaycev // Kybernetica i systemniy analiz. - 2004. - № 2. - S.92-106.
4. Nikolskiy U.V. Diskretna matematika: Pidruchnyk / U.V. Nikolskiy, V.V. Pasichnyk, U.M. Scherbina. - Lviv: "Magnolia 2006", 2007. - 608 s.
5. Natalia Vozna Theory and methods of development of data flow models in distributed CS / N. Vozna // Advanced computer system and network: design and application: Proceedings of the 4-th international conference ACSN-2009. - Lviv, 2009. - P.304-307.
6. Vozna N.Ya. Teoriya ta metody pobudovy modeley rukhu danykh u rozpodilenykh KS // Visnyk NULP "Komputerni systemy ta merezhi", 2010. - №688. - S.60-64.
7. Boichenko O.V. Shvidkodiuchi bagatododankovi sumatory kombinatsiynogo tipu / O.V.Boichenko, Ya.I.Toroshanko // Mizhvuzivskyi zbimyk "Komputerno-integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobnystvo", 2011 - №3. - S.20-24.
8. Karcev M.A. Arifmetika cifrovikh mashin / M.A. Karcev - M.: Nauka, 1969 - 576 s.
9. Mayorov S.A. Principi organizatsii cifrovikh mashin / S.A. Mayorov, G.I. Nivikov - . L.: Mashinostroenie, 1974. - 432 s.
10. Cherkaskiy M.V. Analiz skladnosti pristoiv pomnozhenna / M.V. Cherkaskiy, Murad Khusein Khalil // Visnyk NULP "Komputerni systemy proektuvanna. Teoriya i praktika" - Lviv, 2005. - №548. - S.15-21.
11. Melnyk R.A. Algoritmy ta metody opracuvanna zobrazhen: Navch. pocibn, / R.A.Melnyk. - Lviv: Vydavnytvo Lvivskoi politekhniki, 2017. - 220 s.
12. James Martin. Design and strategy for distributed data processing / J. Martin - NJ: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 1990 - 672 p.
13. Pitukh I. Principi pobudovy komputernikh merezh z glibokim rozparalelenniam informatsiynikh potokiv na osnovi matrichnykh modeley ruhu danykh / I. Pitukh, Ya. Nykolaichuk, N. Vozna // Visnyk NULP "Radioelektronika ta telekomunikatsii". - Lviv, 2004. - №508. - S. 263-268.
14. Glukhov V.S. Ocinka strukturnoi skladnosti bagatosektsiynikh pomnozhuвачiv elementiv poliv Galua / V.S. Glukhov, G.M.Trish // Visnyk NULP "Komputerni systemy ta merezhi". - Lviv, 2014. - Vyp.806. - S.27-33.
15. Vozna N.Ya. Osnovy teorii strukturizatsii polifunktsionalnykh elementiv skladnykh system // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - Khmelnytskyi, 2015.- №2 (223). - S.204-208.
16. Vozna N.Ya. Formalizatsiya modeley rukhu danykh rozpodilenykh komputernykh system ta ocinyuvannya ikh strukturnoi skladnosti // Visnyk Ternopil'skogo nacionalnogo tekhnichnogo universytetu im.I.Pulyuya, 2011. - №1. Т.16. - S.167-179.
17. Nykolaichuk Ya.M. Teoriya dzherel informatsii / Ya.M. Nykolaichuk - Ternopil: TzOV "Terno-graf", 2010. - 536 s.
18. Shilo V.L. Populyarnie teifrovie mikroskhemii: Spravochnik - 2-e izd. / V.L.Shilo - M: Radio i svyaz, 1989. - 352 s.
19. Pat.115861 Ukraina Odnorozryadnyi napivsumator, Bul. №8/2017.
20. Pat. 132520 Ukraina Matrichiy peremnozhuвач, Bul. №4/2019.
21. Pat. 124563 Ukraina Povniy odnorozryadnyi sumator, Bul. №7/2018.
22. Pat.132145 Ukraina Riznicevo-modulniy kvadrator, Bul. №3/2019.

ОСАДЧУК Я. О.

ORCID ID: 0000-0002-5472-0797
e-mail:osadchuk.j93@gmail.com

ОСАДЧУК О. В.

ORCID ID: 0000-0001-6662-9141
e-mail:osadchuk.av69@gmail.com

ОСАДЧУК В. С.

ORCID ID: 0000-0002-3142-3642
e-mail:osadchuk.vs38@gmail.com

Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОГЕНЕРАТОРНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Запропоновано автогенераторні параметричні сенсори температури на основі транзисторних мікроелектронних структур з від'ємним диференційним опором з первинними перетворювачами типу терморезистора і термодіода, причому первинні термочутливі елементи є активними елементами схем автогенераторів сенсорів, що спрощує їх конструкцію. Виходячи з розгляду фізичних процесів у первинних термочутливих перетворювачах і автогенераторах сенсорів, розроблено математичні моделі сенсорів температури, на основі яких отримано параметричні залежності функцій перетворення і чутливості. Показано, що основний внесок у функцію перетворення вносить температура. Це викликає зміну еквівалентної ємності і від'ємного диференційного опору автогенераторів сенсорів, що, у свою чергу, змінює вихідну частоту сенсорів температури. Чутливість сенсорів температури змінюється від 1,2 кГц/°C до 2,35 кГц/°C при зміні температури від 0 °C до 125 °C. Отримані параметричні залежності функцій перетворення сенсорів температури показують можливість значно простіше отримувати основні характеристики сенсорів і наочно демонструють вплив кожного параметра первинних перетворювачів і елементів автогенераторів на вихідну частоту сенсорів у порівнянні з розрахунками функцій перетворення з еквівалентних схем пристроїв на основі розв'язку рівнянь Кірхгофа. У сенсорах температури з частотним виходом не потрібні аналого-цифрові перетворювачі і підсилювальні пристрої при подальшій обробці інформаційних сигналів, що здешевлює інформаційно-вимірювальну апаратуру, окрім того можлива передача інформації на відстань при роботі сенсорів у надвисоких частотах.

Ключові слова: автогенераторний параметричний сенсор температури, від'ємний диференційний опір, температура, частота, терморезистор, термодіод.

I. OSADCHUK, A. OSADCHUK, V. OSADCHUK
Vinnitsia National Technical University

RESEARCH OF AUTOGENERATOR PARAMETRIC TEMPERATURE SENSORS

Autogenerator parametric temperature sensors based on transistor microelectronic structures with negative differential resistance with primary transducers such as thermistors and thermodiodes are proposed, and the primary thermosensitive elements are active elements of sensor autogenerator circuits, which simplifies their design. Based on the consideration of physical processes in primary heat-sensitive transducers and autogenerators of sensors, mathematical models of temperature sensors have been developed, on the basis of which parametric dependences of transformation and sensitivity functions are obtained. It is shown that the main contribution to the conversion function is made by temperature. This causes a change in the equivalent capacitance and negative differential resistance of the sensor autogenerators, which in turn changes the output frequency of the temperature sensors. The sensitivity of the temperature sensors varies from 1.2 kHz/°C to 2.35 kHz/°C when the temperature changes from 0 °C to 125 °C. The obtained parametric dependences of temperature sensor conversion functions show the possibility to obtain basic sensor characteristics much easier and clearly demonstrate the influence of each parameter of primary converters and autogenerator elements on sensor output frequency in comparison with calculations of conversion functions from equivalent device circuits based on Kirchhoff equations solution. Frequency output temperature sensors do not require analog-to-digital converters and amplifiers for further processing of information signals, which reduces the cost of information and measuring equipment, in addition, it is possible to transmit information over distances when operating sensors at ultrahigh frequencies.

Keywords: autogenerator parametric temperature sensor, negative differential resistance, temperature, frequency, thermistor, thermodiode.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Вимірювання температури потрібно майже в усіх технологічних процесах в таких галузях виробництва, як енергетика, металургія, хімічна промисловість, медицина, сільське господарство, авіаційна та космічна техніка, дослідження довкілля, що потребують створення вимірювальних приладів високої точності, стабільності та швидкодії, а також дослідження впливів всієї сукупності факторів, які супроводжують вимірювальний процес [1, 2, 3, 4-8].

Для вимірювання температури на даний час використовуються напівпровідникові або мікроелектронні сенсори, що виконані у вигляді мікроелектронних схем, інфрачервоні сенсори, термометри опору, термістори, термопари. Мікроелектронні сенсори призначені для вимірювання температури в діапазоні від -50 °C до +170 °C. Вони знаходять широке застосування в системах керування, комп'ютерах, засобах зв'язку, блоках живлення та інше [9, 10].

На теперішній час більшість сенсорів температури мають вихідний сигнал у вигляді струму або

напруги, що приводить до значних похибок вимірювання внаслідок втрат інформації в каналі між виходом сенсора і входом підсилювально-перетворювальної апаратури, малих потужностей вихідного сигналу сенсорів, їх низької завадостійкості і швидкодії [11, 12]. Усунути перераховані вище недоліки можливо на основі автогенераторних параметричних сенсорів, що працюють в режимі перетворення, «температура-частота», що дає можливість значно покращити їх метрологічні показники [13, 14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із перспективних наукових напрямків у створенні сенсорів температури є дослідження в області сенсорів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від’ємним диференціальним опором, що дозволяє створювати прилади з частотним вихідним сигналом. Автогенераторні параметричні сенсори температури поєднують простоту і універсальність, які мають аналогові пристрої, з точністю і завадостійкістю, що характеризують прилади з кодовим виходом. Застосування принципу перетворення "температура-частота" на основі автогенераторних параметричних сенсорів температури суттєво знижує собівартість інформаційно-вимірювальних систем, дозволяє значно зменшити масогабаритні показники сенсорів температури, підвищити точність і чутливість перетворення температурного інформаційного сигналу у частоту [15-21].

Постановка завдання

Метою роботи є створення та дослідження сенсорів температури на основі мікроелектронних транзисторних структур, в яких терморезистор і термодіод виступають як первинні перетворювачі температури, так і як активні елементи автогенератора, в якому втрати енергії в коливальній системі компенсуються енергією від’ємного диференціального опору, що дозволяє перетворювати температуру у частоту. Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючих наукових джерел та обґрунтувати використання мікроелектронних транзисторних структур з від’ємним диференціальним опором для побудови сенсорів температури з частотним виходом;
- 2) розробити математичні моделі сенсорів температури, в яких враховано залежність параметрів температурно чутливих елементів від дії температури та її вплив на вихідну частоту сенсора;
- 3) отримати аналітичні вирази параметричної залежності вихідної частоти сенсора від дії температури;
- 4) зробити висновки з проведених досліджень.

Математичні моделі сенсорів температури

Сенсор температури з частотним вихідним сигналом будується на основі мікроелектронної транзисторної структури з від’ємним диференціальним опором, в якій термочутливим елементом є терморезистор. На рис. 1 представлена схема надвисокочастотного мікроелектронного сенсора температури.

Коливальний контур утворений ємнісною складовою повного опору на електродах колектор-емітер біполярного транзистора VT2 і індуктивності L1. Електричне коло R1C1 створює додатковий позитивний зворотний зв’язок, що збільшує від’ємний диференціальний опір, енергія якого компенсує втрати енергії в коливальному контурі. Вплив температури на термочутливий опір R1 приводить до зміни ємнісної складової повного опору на електродах колектор-емітер транзистора VT2 і від’ємного диференціального опору, що змінює вихідну частоту сенсора. Опір R1 і джерело постійної напруги U забезпечують вибір робочої точки на спадній ділянці вольт-амперної характеристики пристрою. Ємність C2 блокує джерело постійної напруги U від впливу змінного струму [15].

Перейдемо до розгляду залежності параметрів термочутливого опору напівпровідника від температури. Формула термочутливого опору має вигляд [22]

$$R(T) = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \tag{1}$$

де R_0 – опір терморезистора при температурі $T_0 = 293\text{ K}$, $B = E_g / k$, E_g – ширина забороненої зони напівпровідника, k – стала Больцмана, T – температура, яка діє на терморезистор. З формули (1) визначимо зміну опору при дії температури через зміну його складових

$$\Delta R(T) = \frac{\partial R}{\partial B} \Delta B(T) + \frac{\partial R}{\partial T} \Delta T. \tag{2}$$

Після диференціювання формула (2) описується виразом

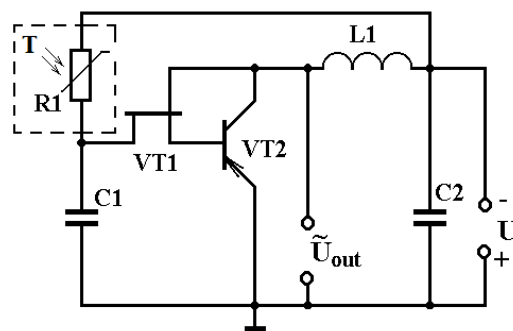


Рис. 1. Електрична схема мікроелектронного сенсора температури

$$\Delta R(T) = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \Delta B(T) + R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \left(-\frac{B}{T^2} \right) \Delta T. \quad (3)$$

Знаючи залежність зміни складових опорів терморезистора від температури, перейдемо до визначення параметричної залежності вихідної частоти сенсора. При вирішенні цієї задачі необхідно розглянути перетворення енергії теплового поля в енергію змінного електричного поля на виході сенсора. Для цього визначимо коефіцієнт корисної дії сенсора. На першому етапі роботи сенсора енергія теплового поля перетворюється у напругу, яка є вхідною величиною для автогенератора сенсора. В наступному енергія електричного поля термочутливого резистора перетворюється в енергію змінного електричного поля, яка зв'язана з еквівалентною ємністю $C_{екв}$ коливального контуру автогенератора сенсора. Таким чином, коефіцієнт корисної дії сенсора температури визначається

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}, \quad (4)$$

де

$$P_{вх} = I^2 R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}, \quad (5)$$

де I – струм через резистор при дії температури, а величина $P_{вих}$ дорівнює

$$P_{вих} = \frac{C_{екв} U_{\sim}^2}{2t}, \quad (6)$$

де t – період коливань змінної вихідної напруги U_{\sim} . З врахуванням формул (5) і (6), коефіцієнт корисної дії сенсора має вигляд

$$\eta = \frac{C_{екв} U_{\sim}^2}{2t I^2 R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}}, \quad (7)$$

З формули (7) визначається $C_{екв}$, яка описується виразом

$$C_{екв} = \frac{2\eta I^2 R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}}{U_{\sim}^2}, \quad (8)$$

З другого боку, еквівалентну ємність $C_{екв}$ можна визначити з формули резонансної частоти автогенератора, яка має вигляд [20]

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_g C_{екв}} \left[\frac{R_g^2 C_{екв}}{L} - 1 \right]^{1/2}, \quad (9)$$

де R_g – від'ємний диференційний опір коливального контуру, L – індуктивність контуру. З виразу (9) отримуємо квадратне рівняння, з якого визначимо $C_{екв}$

$$(4\pi^2 F_0^2 R_g^2 L) C_{екв}^2 - R_g^2 C_{екв} + L = 0. \quad (10)$$

Введемо наступні позначення

$$d_1 = 4\pi^2 F_0^2 R_g^2 L, \quad (11)$$

$$d_2 = R_g^2, \quad (12)$$

$$d_3 = L, \quad (13)$$

$$d_4 = \frac{2\eta I^2 R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}}{U_{\sim}^2} = C_{екв}, \quad (14)$$

тоді $C_{екв}$ з рівняння (10) дорівнює

$$C_{екв} = \frac{d_2 + \sqrt{d_2^2 - 4d_1 d_3}}{2d_1}. \quad (15)$$

Прирівнявши вираз (15) до виразу (8), отримуємо рівняння для визначення F_0 , яке має вигляд

$$d_1 = \frac{d_2}{d_4} - \frac{d_3}{d_4}. \quad (16)$$

Підставивши значення виразів (11) – (14) у формулу (16), отримуємо рівняння, яке описується формулою

$$4\pi^2 F_0^2 R_g^2 L = \frac{R_g^2 U_{\sim}^2}{2\eta I^2 R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}} - \frac{L U_{\sim}^4}{4\eta^2 t^2 I^4 R_0^2 e^{2B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}}, \quad (17)$$

З рівняння (17) визначаємо параметричну залежність резонансної частоти сенсора від параметрів первинного перетворювача температури і параметрів автогенератора, отже

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{U_{\sim}^2}{2\eta I^2 R_0 L e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}} - \frac{U_{\sim}^4}{4\eta^2 t^2 I^4 R_g^2 R_0^2 e^{2B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}} \right]^{1/2}, \quad (18)$$

Отримана формула (18) дозволяє простим шляхом розрахувати функцію перетворення сенсора, ніж класичним складним шляхом з еквівалентної схеми сенсора на основі рівнянь Кірхгофа, які можна вирішити на комп'ютері чисельним шляхом.

На рис. 2 подано графічну залежність розрахункової та експериментальної кривих функцій перетворення сенсора температури

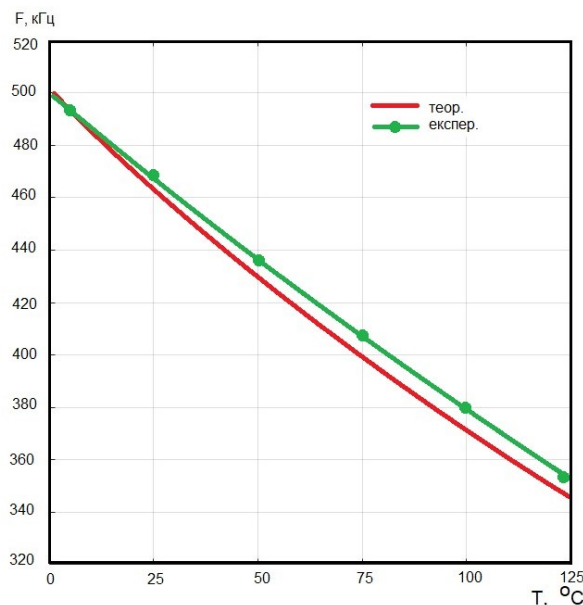


Рис. 2. Залежність функції перетворення сенсора від температури

Чутливість сенсора визначається похідною функції (18) за параметром температури. Як показують експериментальні дослідження, вихідна змінна напруга U_{\sim} залежить від температури, що необхідно врахувати при визначенні чутливості, з врахуванням цього зауваження функція (18) приймає вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[U_{\sim}^2(T) e^{-B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \cdot S_1 - U_{\sim}^4(T) e^{-2B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \cdot S_2 \right]^{1/2}, \quad (19)$$

де $S_1 = [2\eta I^2 R_0 L]^{-1}$, $S_2 = [4\eta^2 t^2 I^4 R_g^2 R_0^2]^{-1}$, тоді функція чутливості описується формулою

$$S_{F_0} = \frac{1}{4\pi} \left[U_{\sim}^2(T) S_1 e^{-B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} - U_{\sim}^4(T) S_2 e^{-2B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \right]^{-1/2} \cdot \left(\left[2U_{\sim}(T) \frac{dU_{\sim}(T)}{dT} e^{-B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} - U_{\sim}^2(T) e^{-B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \frac{dB}{dT} \right] S_1 - \left[4U_{\sim}^3(T) \frac{dU_{\sim}(T)}{dT} e^{-2B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} - 2U_{\sim}^4(T) e^{-2B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \frac{dB}{dT} \right] S_2 \right). \quad (20)$$

Графік чутливості сенсора від температури подано на рис.3.

Як видно з графіка (рис.3), чутливість у діапазоні від 0 °C до 125 °C складає від 1,58 кГц/°C до 1,2 кГц/°C.

Подальше покращення метрологічних параметрів сенсорів температури можливо отримати на основі автогенераторного параметричного пристрою з використанням в якості первинного перетворювача температури термочутливого діода. Електрична схема сенсора температури подано на рис. 4

Вона являє собою інтегральну гібридну схему, що складається з двох біполярних транзисторів VT1 і VT2, з різними типами провідності, що приводить до появи від'ємного диференційного опору на електродах колектор-колектор транзисторів. Термочутливий діод VD1 включено у коло зворотного позитивного зв'язку. На електродах колектор-колектор транзисторів VT1 і VT2 існує повний опір, активна складова якого має від'ємне значення, а реактивна – емнісний характер. Підключення індуктивності L1 до колектора VT1 створює коливальний контур, втрати енергії в якому компенсуються енергією від'ємного диференційного опору.

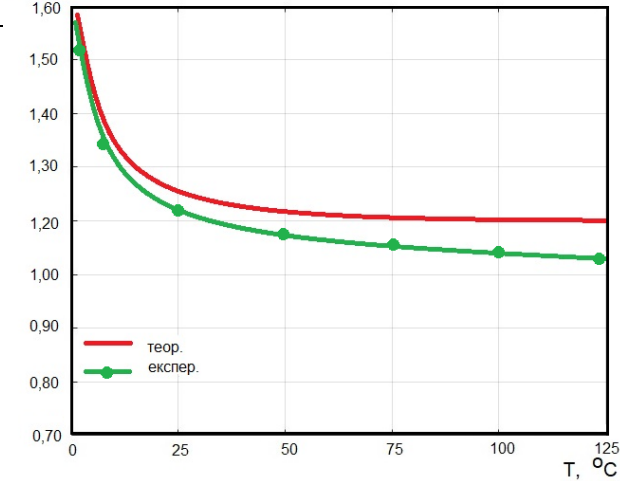


Рис. 3. Залежність функції чутливості сенсора від температури

змінюється напруга на VD1, що приводить до зміни еквівалентної ємності і диференційного від'ємного опору у коливальній системі автогенератора сенсора.

Термочутливий діод включено у зворотному режимі роботи, тобто його зворотній струм залежить від температури. Для визначення величини зворотного струму термочутливого діода скористаємося класичною формулою вольт-амперної характеристики р-п-переходу, яку отримав У.Шоклі [23]

$$I = I_{36} \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right), \quad (21)$$

де I – струм, який протікає через р-п-перехід, I_{36} – зворотний струм р-п-переходу, U – напруга, яка прикладена до р-п-переходу.

З формули (21) витікає величина зворотного струму, яка має вигляд

$$I_{36} = qS \left[\frac{D_p p_n}{L_p} + \frac{D_n n_p}{L_n} \right], \quad (22)$$

де q – заряд електрона, S – площа р-п-переходу, D_p, D_n , – коефіцієнти дифузії дірок і електронів відповідно, L_p, L_n , – дифузійні довжини дірок і електронів відповідно, p_n – концентрація дірок в п-області р-п-переходу, n_p – концентрація електронів в р-області р-п-переходу. У несиметричному р-п-переході $p_p \gg n_p$, тому формула (22) значно спрощується

$$I_{36} = \left[\frac{qSD_p p_n}{L_p} \right], \quad (23)$$

З фізики напівпровідників відомо [23]

$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n}, \quad (24)$$

$$n_i = N_C N_V e^{-\frac{E_g}{kT}}, \quad (25)$$

$$N_C = 2 \left[\frac{2\pi m_c^* kT}{h^2} \right]^{3/2}, \quad (26)$$

$$N_V = 2 \left[\frac{2\pi m_v^* kT}{h^2} \right]^{3/2}, \quad (27)$$

де n_i – концентрація електронів у бездомішковому напівпровіднику, n_n – концентрація електронів у домішковому напівпровіднику n-типу, N_C, N_V – ефективна щільність квантових станів електронів у зоні провідності та дірок у валентній зоні напівпровідника відповідно, m_c^*, m_v^* – ефективні маси електронів і дірок відповідно, k – стала Больцмана, h – стала Планка. При підстановці (24)-(27) у вираз (23) отримуємо

$$I_{36} = \left[\frac{qSD_p N_C N_V}{n_n L_p} \right] e^{-\frac{E_g}{kT}}. \quad (28)$$

Введемо позначення

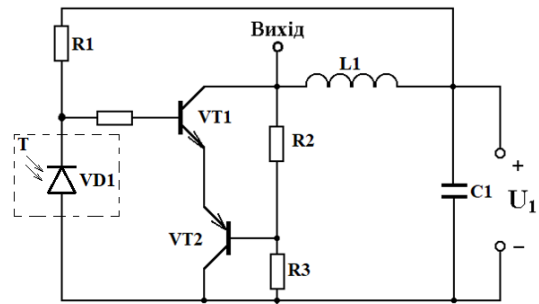


Рис. 4. Електрична схема мікроелектронного сенсора температури

Таким чином, резонансна частота коливального контуру залежить від дії температури на термочутливий діод VD1, оскільки

$$A = \left[\frac{qSD_p N_C N_V}{n_n L_p} \right]. \quad (29)$$

тоді величина зворотного струму термочутливого діода приймає вигляд

$$I_{36} = A e^{-\frac{E_g}{kT}}. \quad (30)$$

з врахуванням (29) і (30) залежність зворотного опору термочутливого діода описується формулою

$$R(T) = \left[\frac{U_{36} n_n L_p}{qSD_p N_C N_V} \right] e^{\frac{E_g}{kT}} = R_0 e^{\frac{E_g}{kT}}. \quad (31)$$

де U_{36} – зворотна постійна напруга на діоді, R_0 – опір діода при температурі $T=293$ К. Якщо вважати, що R_0 не залежить від температури, то зміну опору від температури $R(T)$ можна представити у вигляді

$$\Delta R(T) = \frac{\partial R}{\partial E_g} \Delta E_g(T) + \frac{\partial R}{\partial T} \Delta T. \quad (32)$$

Виконавши диференціювання у виразі (32), отримуємо формулу

$$\Delta R(T) = R_0 e^{\frac{E_g}{kT}} \left(\frac{1}{kT} \right) \Delta E_g(T) - R_0 e^{\frac{E_g}{kT}} \left(\frac{E_g}{k} \right) (T^{-2}) \Delta(T). \quad (33)$$

Визначивши залежність зміни зворотного опору термочутливого діода від температури, перейдемо до визначення параметричної залежності вихідної частоти сенсора від зміни температури. Ця залежність визначається аналогічним чином як і для сенсора з терморезистором, що розглянута вище.

Вхідна потужність для автогенератора сенсора визначається на основі виразів (30) і (31)

$$P_{\text{вх}} = A U_{36} e^{-\frac{E_g}{kT}}. \quad (34)$$

Вихідна потужність сенсора визначається формулою

$$P_{\text{вих}} = \frac{C_{\text{екв}} U_{36}^2}{2t}. \quad (35)$$

Виходячи з формул (34) і (35), коефіцієнт корисної дії сенсора дорівнює

$$\eta = \frac{C_{\text{екв}} U_{36}^2 e^{\frac{E_g}{kT}}}{2t A U_{36}}. \quad (36)$$

З рівняння (36) визначається величина $C_{\text{екв}}$, яка має вигляд

$$C_{\text{екв}} = \frac{2\eta t A U_{36}}{U_{36}^2 e^{\frac{E_g}{kT}}}. \quad (37)$$

З другого боку, еквівалентна ємність коливального контуру автогенератора зв'язана з резонансною частотою приладу виразом (9).

Підставивши у формулу (9) вираз (37), отримуємо параметричну залежність вихідної резонансної частоти від параметрів термочутливого діода і параметрів автогенератора. Ця залежність описується рівнянням

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{U_{36}^2 e^{\frac{E_g}{kT}}}{2\eta t A U_{36} L} - \frac{U_{36}^4 e^{\frac{2E_g}{kT}}}{4\eta^2 t^2 A^2 U_{36}^2 R_g^2} \right]^{1/2}. \quad (38)$$

Вираз (38) є функцією перетворення сенсора температури. На рис.5 подана розрахункова залежність функції перетворення, згідно формули (38), і експериментальної залежності від дії температури на сенсор, відносна похибка між розрахунками і експериментом складає 5% при вимірюванні температури величиною 125 °С.

Функція чутливості сенсора визначається на основі виразу (38), при цьому вважається, що вихідна змінна напруга сенсора також залежить від температури. Отже, функція чутливості описується виразом

$$S_{F_0} = \frac{1}{4\pi} \left[U_{36}^2(T) e^{\frac{E_g}{kT}} S_3 - U_{36}^4(T) e^{\frac{2E_g}{kT}} S_4 \right]^{-1/2} \times \left(\left[2U_{36}(T) \frac{dU_{36}(T)}{dT} e^{\frac{E_g}{kT}} S_3 - U_{36}^2(T) e^{\frac{E_g}{kT}} \left(\frac{E_g}{k} \right) \left(\frac{1}{T^2} \right) S_3 \right] - \left[4U_{36}^3(T) \frac{dU_{36}(T)}{dT} e^{\frac{2E_g}{kT}} S_4 - U_{36}^4(T) e^{\frac{2E_g}{kT}} \left(\frac{2E_g}{k} \right) \left(\frac{1}{T^2} \right) S_4 \right] \right), \quad (39)$$

де

$$S_3 = [2\eta t A U_{36} L]^{-1}, \quad (40)$$

$$S_4 = [4\eta^2 t^2 A^2 U_{36}^2 R_g^2]^{-1}. \quad (41)$$

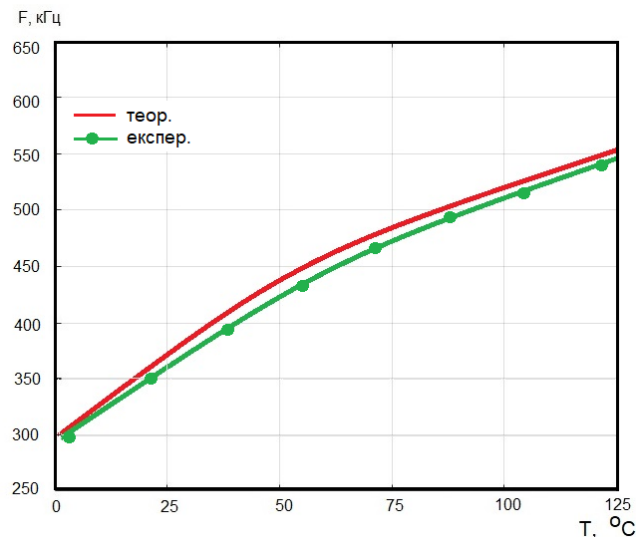


Рис. 5. Залежність функції перетворення сенсора від температури

На рис. 6 подано розрахункову залежність функції чутливості від дії температури на сенсор.

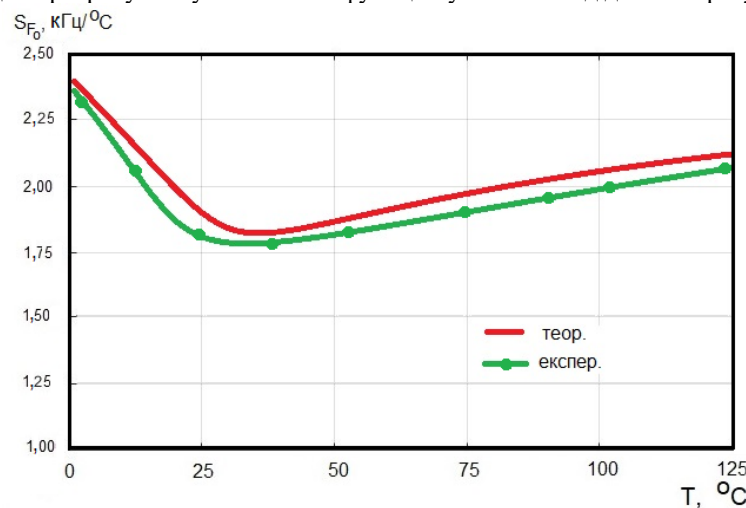


Рис. 6. Залежність функції чутливості сенсора від температури

Як видно з графіка (рис. 6), чутливість складає від 1,81 кГц/°C до 2,35 кГц/°C до в діапазоні вимірюваної температури від 0 °C до 125 °C.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Запропоновано автогенераторні параметричні сенсори температури на основі транзисторних мікроелектронних структур з від'ємним диференційним опором з первинними термочутливими елементами типу терморезистора і термодіода, причому первинні термочутливі елементи є активними елементами схеми автогенераторів сенсорів, що спрощує конструкцію сенсорів.

2. Виходячи з розгляду фізичних процесів у первинних температурно чутливих елементах і автогенераторах сенсорів, розроблено математичні моделі сенсорів температури, на основі яких отримано параметричні залежності функцій перетворення і чутливості. Показано, що основний внесок у функцію перетворення вносить зміна температури. Це викликає зміну еквівалентної ємності і диференційного від'ємного опору автогенераторів сенсорів, що, у свою чергу, змінює вихідну частоту сенсорів температури. Чутливість сенсорів температури змінюється від 1,2 кГц/°C до 2,35 кГц/°C при зміні температури від 0 °C до 125 °C.

3. Отримані параметричні залежності функцій перетворення сенсорів температури показують можливість набагато простіше отримувати основні характеристики сенсорів і наочно демонструють вплив кожного елемента первинних перетворювачів і елементів автогенераторів на вихідну частоту сенсорів у порівнянні з розрахунками функцій перетворення з еквівалентних схем пристроїв на основі розв'язку рівнянь Кірхгофа. У сенсорах температури з частотним виходом не потрібні аналого-цифрові перетворювачі і підсилювальні пристрої при подальшій обробці інформаційних сигналів, що здешевлює інформаційно-вимірювальну апаратуру, окрім того можлива передача інформації на відстань при роботі сенсорів у надвисоких частотах.

Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. Том 2. За редакцією З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2003. – 595с.
2. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. – Москва: Техносфера, 2012. – 624с.
3. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. – Москва: Техносфера, 2007. – 384 с.
4. Schaumburg H. Sensoren. – Stuttgart: Teubner, 1992. – 517 p.
5. Мартинес-Дуарт Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф.Агулло-Руеда. – Москва: Техносфера, 2007. – 368 с.
6. Azcona C. A frequency-output temperature sensor with supply voltage insensitivity for battery operated systems / Azcona C., Calvo B., Medrano N., Celma S. and García-Romeo D. // 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2015, pp. 3330-3335, doi: 10.1109/ICIT.2015.7125591.
7. Benouakta S. UHF RFID Temperature Sensor Tag Integrated into a Textile Yarn / Sofia Benouakta, Florin Doru Hutu and Yvan Duroc // Sensors 2022, 22, 818.
8. Justin Daniel. Temperature and Pressure Wireless Ceramic Sensor (Distance = 0.5 Meter) for Extreme Environment Applications / Justin Daniel, Spencer Nguyen, Md Atiqur Rahman Chowdhury, Shaofan Xu and Chengying Xu // Sensors 2021, 21, 6648.
9. Zhenglin Chen. Geometric Nonlinear Model for Prediction of Frequency–Temperature Behavior of SAW Devices for Nanosensor Applications / Zhenglin Chen, Qiaozhen Zhang, Congcong Li, Sulei Fu, Xiaojun Qiu, Xiaoyu Wang and Haodong Wu. // Sensors 2020, 20, 4237; doi:10.3390/s20154237
10. Jean Claude Asseko Ondo. FEM Modeling of the Temperature Influence on the Performance of SAW Sensors Operating at GigaHertz Frequency Range and at High Temperature Up to 500 C / Jean Claude Asseko Ondo, Eloi Jean Jacques Blampain, Gaston N'Tchayi Mbourou, Stephan Mc Murtry et al. // Sensors 2020, 20, 4166; doi:10.3390/s20154166
11. Yan D. Low-Cost Wireless Temperature Measurement: Design, Manufacture, and Testing of a PCB-Based Wireless Passive Temperature Sensor / Yan D., Yang Y., Hong Y., Liang T., Yao Z., Chen X., Xiong, J. // Sensors 2018, 18, 532.
12. Smith J. Wireless Sensing and Communication Capability from In-Core to a Monitoring Center; Technical Report / Smith J., Xu C., Deng, Y., Manjunatha K.A., Agarwal V. // U.S. Department of Energy: Washington, DC, USA, 2020.
13. Осадчук В. С. Радіовимірювальні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором для неруйнівного теплового контролю / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, С. В. Барабан. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 212с.
14. Осадчук В. С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Н. С. Кравчук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 162 с.
15. Осадчук В.С. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / Осадчук В.С., Осадчук А.В. // Винниця: «Универсум-Винниця», 1999. – 275 с.
16. Osadchuk V.S. Microelectronic frequency transducers of magnetic field with Hall elements / Vladimir S. Osadchuk, Oleksandr V. Osadchuk, Iaroslav A. Osadchuk, Tomasz Zyska, Aizhan Zhanpeisova // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Volume 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108086P, 2018, pp.1-14. ISSN 0277-786X. <https://doi.org/10.1117/12.2501629>.
17. Osadchuk A.V. Research on a magnetic field sensor with a frequency output signal based on a tunnel-resonance diode / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A. // Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska. IAPGOS, 4/2020, 51–56 p.
18. Osadchuk V.S. The Pontial of Modern Science. Chapters. Microelectronic frequency transducers of the magnetic field based on semiconductor structures with negative differential resistance. Volume 3 / Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Osadchuk I.O. // Published by Science Publishing. LP22772, 20-22 Wenlock Road, London, United Kingdom, 2019. – P. 212-237.
19. Osadchuk A.V. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisała P., Nurseitova K. // Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019; 111761I (2019).
20. Osadchuk A.V. Radiomeasuring pressure transducer with sensitive MEMS Capacitor / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Kisała P., Zyska T., Annabaev A., Mussabekov K. // Przegląd Elektrotechniczny. 2017, R93(3), –P.113–116.
21. Osadchuk A.V. Optical transducers with frequency output / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, 2017, 104451X (2017).
22. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов / Викулин И.М., Стафеев В.И. // – Москва: Радио и связь, 1990. – 264 с.

23. Sze S.M. Physics of Semiconductor Devices / Sze S.M., Kwok K.Ng. // Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007. –763p.

References

1. Microelectronic sensors of physical quantities. Volume 2. Edited by Z.Yu. Gotri. –Lviv: Liga-Press, 2003. –595p.
2. Sensors: Reference manual / Ed. ed. V.M. Sharapova, E.S. Polishchuk. – Moscow: Technosfera, 2012. – 624 p.
3. Jackson R.G. Latest sensors. - Moscow: Technosphere, 2007. - 384 p.
4. Schaumburg H. Sensoren. – Stuttgart: Teubner, 1992. – 517 p.
5. Martinez-Duart J.M. Nanotechnologies for micro- and optoelectronics / J.M. Martinez-Duart, R.J. Martin-Palma, F.Agullo-Rueda. - Moscow: Technosphere, 2007. - 368 p.
6. Azcona C. A frequency-output temperature sensor with supply voltage insensitivity for battery operated systems /Azcona C., Calvo B., Medrano N., Celma S. and García-Romeo D. // 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2015, pp. 3330-3335, doi: 10.1109/ICIT.2015.7125591.
7. Benouakta S. UHF RFID Temperature Sensor Tag Integrated into a Textile Yarn / Sofia Benouakta, Florin Doru Hutu and Yvan Duroc // Sensors 2022, 22, 818.
8. Justin Daniel. Temperature and Pressure Wireless Ceramic Sensor (Distance = 0.5 Meter) for Extreme Environment Applications / Justin Daniel, Spencer Nguyen, Md Atiqur Rahman Chowdhury, Shaofan Xu and Chengying Xu // Sensors 2021, 21, 6648.
9. Zhenglin Chen. Geometric Nonlinear Model for Prediction of Frequency–Temperature Behavior of SAW Devices for Nanosensor Applications / Zhenglin Chen, Qiaozhen Zhang, Congcong Li, Sulci Fu, Xiaojun Qiu, Xiaoyu Wang and Haodong Wu. // Sensors 2020, 20, 4237; doi:10.3390/s20154237
10. Jean Claude Asseko Ondo. FEM Modeling of the Temperature Influence on the Performance of SAW Sensors Operating at GigaHertz Frequency Range and at High Temperature Up to 500 C / Jean Claude Asseko Ondo, Eloi Jean Jacques Blampain, Gaston N'Tchay Mbouour, Stephan Mc Murtry et al. // Sensors 2020, 20, 4166; doi:10.3390/s20154166
11. Yan D. Low-Cost Wireless Temperature Measurement: Design, Manufacture, and Testing of a PCB-Based Wireless Passive Temperature Sensor / Yan D., Yang Y., Hong Y., Liang T., Yao Z., Chen X., Xiong, J. // Sensors 2018, 18, 532.
12. Smith J. Wireless Sensing and Communication Capability from In-Core to a Monitoring Center; Technical Report / Smith J., Xu C., Deng, Y., Manjunatha K.A., Agarwal V. // U.S. Department of Energy: Washington, DC, USA, 2020.
13. Osadchuk V.S. Radio measuring transducers based on transistor structures with negative resistance for non-destructive thermal control / V.S. Osadchuk, O.V. Osadchuk, S.V. Baraban. – Vinnytsia: VNTU, 2015. –212p.
14. Osadchuk V.S. Microelectronic temperature sensors with frequency output / V.S. Osadchuk, O.V. Osadchuk, N.S. Kravchuk. - Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2006. – 162 p.
15. Osadchuk V.S. Reactive properties of transistors and transistor circuits / Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. // Vinnitsa: "Universum-Vinnitsa", 1999. – 275 p.
16. Osadchuk V.S. Microelectronic frequency transducers of magnetic field with Hall elements / Vladimir S. Osadchuk, Oleksandr V. Osadchuk, Iaroslav A. Osadchuk, Tomasz Zyska, Aizhan Zhanpeisova // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Volume 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108086P, 2018, pp.1-14. ISSN 0277-786X. <https://doi.org/10.1117/12.2501629>.
17. Osadchuk A.V. Research on a magnetic field sensor with a frequency output signal based on a tunnel-resonance diode / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A. // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska. IAPGOS, 4/2020, 51–56 p.
18. Osadchuk V.S. The Pontial of Modern Science. Chapters. Microelectronic frequency transducers of the magnetic field based on semiconductor structures with negative differential resistance. Volume 3 / Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Osadchuk I.O. // Published by Science Publishing, LP22772, 20-22 Wenlock Road, London, United Kingdom, 2019. – Pp. 212-237.
19. Osadchuk A.V. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisała P., Nurseitova K. // Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019; 111761I (2019).
20. Osadchuk A.V. Radiomeasuring pressure transducer with sensitive MEMS Capacitor / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Kisała P., Zyska T., Annabaev A., Mussabekov K. // Przegląd Elektrotechniczny. 2017, R93(3), –P.113–116.
21. Osadchuk A.V. Optical transducers with frequency output / Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, 2017, 104451X (2017).
22. Vikulin I.M. Physics of semiconductor devices / Vikulin I.M., Stafeev V.I. // - Moscow: Radio and communication, 1990. - 264 p.
23. Sze S.M. Physics of Semiconductor Devices / Sze S.M., Kwok K.Ng. // Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007. –763p.

Рецензія/Peer review : 26.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

IGOR PARKHOMY

ORCID ID: 0000-0002-9510-7657

e-mail: i_parkhomy@ukr.net

National Aviation University

JULIY BOIKO

ORCID ID: 0000-0003-0603-7827

e-mail: boiko_julius@ukr.net

Khmelnitskyi National University

RADAR TECHNIQUE FOR AIRCRAFT WITH AN ARTIFICIALLY REDUCED RCS UNDER CONDITIONS OF APPLICATION A RESONANT ELECTROMAGNETIC FIELD

The paper presents the results of a study of the radar technique for aircraft with an artificially reduced radar cross section (RCS) under the condition of using a resonant electromagnetic field. It is shown that the detection and tracking of air objects under conditions of artificially reduced RCS is carried out using radar information with resonant excitation of their radar absorbing coating. It is proposed to carry out tracking and detection of aircraft by a complex combination of an active radar channel with the formation of a resonant radio signal and a passive radar capable of receiving signals formed by an excited surface. It has been determined that by increasing the power level of the irradiating signal to 20-30%, it is possible to increase the area of the local conduction region of the dielectric by 10 times, which means that it will simplify the technical implementation of the method of locating aircraft. The proposed control methods make it possible to provide the necessary probability of detection accompanied by a radar target in a difficult jamming environment and thus increase the potential capabilities of the radar. In the course of the study, it was determined that the excitation and heating of the coating during enthalpy directly depends on the energy flux density of the electromagnetic microwave field per unit mass and area of the substance. It has been established that purposeful control of this effect makes it possible to substantiate the possibility of using enthalpy as a factor in excitation of air target coatings with an artificially reduced reflection area (RCS). The conditions for increasing the efficiency of radar targets with an artificially reduced RCS using a concentrated resonant electromagnetic field have been clarified. It is determined that the influence of such a field is accompanied by the concentration of the energy of the electromagnetic field in the crystal structure of the radio-absorbing coating of the aircraft due to the resonant irradiating signal, which causes temporary local conductivity and thermal radiation. Calculations of quantitative indicators characterizing the possibility of changing the electrically conductive properties of a carbon-type dielectric at a distance for the practical application of advanced radar systems are presented.

Keywords: radar, unmanned aerial vehicle, effective enthalpy, radio-absorbing, target tracking.

ПАРХОМЕЙ І. Р.

Національний авіаційний університет

БОЙКО Ю. М.

Хмельницький національний університет

МЕТОДИКА РАДІОЛОКАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗІ ШТУЧНО ЗНИЖЕНОЮ ЕВП ЗА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗОНАНСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

В роботі представлено результати дослідження методики радіолокації літальних апаратів зі штучно зниженою ефективною площею відбиття (ЕПВ) за умов застосування резонансного електромагнітного поля. Показано, що виявлення та супроводження повітряних об'єктів за умов штучно зменшеної ефективної відбиваючої поверхні (ЕВП) здійснюється використанням радіолокаційної інформації за умов резонансного збудження їх радіопоглинаючого покриття. Запропоновано здійснювати супроводження та виявлення літальних апаратів шляхом комплексного поєднання активного радіолокаційного каналу із формуванням резонансного радіосигналу та пасивної РЛС яка здатна приймати сигнали утворені збудженою поверхнею. Визначено, що шляхом підвищення рівня потужності опромінюваного сигналу до 20-30 % існує можливість збільшення в 10 разів площі локальної області провідності діелектрика, а отже це дозволить здійснити спрощення технічної реалізації способу локації літальних апаратів. Запропоновані методики керування дозволяють забезпечити необхідну ймовірність виявлення та супроводження радіолокаційної цілі за умов складної заводської обстановки і таким чином підвищують потенційні можливості РЛС.

Ключові слова: радіолокація, безпілотний літальний апарат, ефективна ентальпія, радіопоглинаючий шар, супроводження цілі.

Problem Formulation

The problem for which the article is directed is the problem of obtaining information about an air target with an artificially reduced Radar Cross Section (RCS) [1] based on the resonant frequency-phase interaction of the microwave electromagnetic field (MEF) with the crystal structure of the composite material of the structure by antenna systems [2, 3] as part of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) direction-finding radio monitoring systems [4, 5].

The relevance and significance of the subject of the article for practice lies in the fact that the technique proposed in the article will increase the potential gain in signal-to-noise ratio (SNR) in the direction finding of both single aircraft objects and group-use aircraft (UAV group rows). Such a task is very relevant in the context of the introduction by a number of countries of a new strategy to combat UAVs for combat operations, explosive and terrorist activities, organizing drug trafficking, etc. In addition, a significant increase in requirements for radar, the

need to raise the qualitative and quantitative indicators of the effectiveness of the operation of radar systems to the desired level. The non-orientation of the radar station to the detection and tracking of air targets with an artificially reduced RCS poses the task of developing a scientifically methodical approach to determining the directions for improving the efficiency of the radar of the latest UAVs. We need to formulate reasonable recommendations for improving the efficiency of UAV radar [2].

Thus, the currently existing approaches do not allow to fully reliably assess and predict the impact of the characteristics and capabilities of modern aircraft (UAVs) on the effectiveness of their radar. Therefore, it is necessary to develop methods for detecting and tracking air targets with an artificially reduced RCS, which are proposed in this article.

Main Part. Analysis of Current Sources

Modern technology is created using non-metallic materials in its design. This is understandable for a number of reasons, the main of which is the better characteristics of the substances used. Existing approaches to obtaining radar information about such objects are unsuitable, since they are based on the use of effects that occur in metals when they are irradiated with an MEF. Therefore, the task of creating conditions for a remote temporal change in the conductivity properties for the use of induced effects in existing radar methods and especially in the context of UAV location is relevant.

The scientific problem considered in the article is devoted to the calculation of quantitative indicators characterizing the possibility of changing the electrically conductive properties of a carbon-type dielectric at a distance with the practical use of existing radar systems.

An important circumstance contributing to the creation of local conductivity is the presence of electrons in atoms in the conduction band, which is typical for conductors. In semiconductors and dielectrics, the conduction and valence bands are separated by band-gap. For example, carbon, which is widely used in radio engineering, has a band gap of 5.4 eV [6].

If we assume that under certain conditions the electrons from the valence band of the carbon atom will be moved to the conduction band, then the specified substance will exhibit the properties of a conductor. This will make it possible to change the strategy for the use of carbon, its compounds and other dielectric and semiconductor materials in radar technology [7].

As is known, the transition of electrons to the conduction band occurs in the excited state of the atom [6]. It is possible to excite an atom when it is exposed to an external electromagnetic field of high power. The required power of the irradiation field P for the transfer of one electron from the valence band to the conduction band is determined by the dependence [6].

$$P = \frac{W}{\tau}, \quad (1)$$

where w is the band gap (for dielectrics >2 eV); τ is the time spent by an electron in the conduction band of an excited atom ($\tau=10^{-5} \dots 10^{-6}$ s).

For soot, the base of which is carbon, the required power is $8.64 \cdot 10^{-13}$ W. Considering Avogadro's law, the creation of a local conduction band in dielectrics and semiconductors requires an irradiating field power of 10^2 to 10^4 W, which has no practical meaning. But, if we take into account that the transfer of energy to excite the atom will occur when the frequency and phase resonance (oscillations) of the external source of electromagnetic radiation and natural oscillations of the atom are reached, then the energy costs are significantly reduced.

As practice shows [8], a typical surveillance radar (with radiation parameters: $P_u=0.5$ MW (pulse power), $\omega_H=12$ GHz (carrier frequency), $\tau_u=0.5$ μ s (pulse duration) creates an oscillation amplitude at the frequency of resonant interaction with a soot-type dielectric $U_k=0.975$ V). The oscillation amplitude of the irradiation signal at the frequency of resonant interaction with the carbon atom is determined by the dependence:

$$U_k = 2U_H \omega_H \tau_u \left| \frac{\sin\left(\frac{\omega_k}{2} \tau_u\right)}{\frac{\omega_k}{2} \tau_u} \right| \quad (2)$$

where U_H is the amplitude of the irradiation signal at the carrier frequency ω_H ; ω_k is the frequency of the k -th harmonic of the irradiation signal amplitude range (determined by the natural frequency of the carbon atom with a wavelength of 4700 Å).

Accordingly, the power of the irradiation signal at the working range of the station $D=100$ km will be $P=2.5 \cdot 10^{-16}$ W with the initial value $P=0.94$ W.

$$P = \frac{2P_1 G \sigma}{(4\pi D^2)^2} \quad (3)$$

where G is the radar antenna connection factor; σ is the surface area of the dielectric (semiconductor).

If we assume that at a certain distance there is a coincidence in phase and frequency, or their difference is an integer constant value of the irradiation signal and vibrations of dielectric (semiconductor) atoms, then such an interaction should be considered as coherent. In this case, the excitation of the atom occurs due to the transfer energy from the irradiation of the field an external source. In this case, electrons from the valence band pass into the

conduction band, which is accompanied by the emission of a radio wave.

The duration of radiation is determined by the time of arrival of electrons in the band gap after the removal of the atom from equilibrium and is equal to $0.5 - 1 \mu\text{s}$ [9, 10]. The resulting energy of the electromagnetic radiation field is determined by the dependence:

$$E_p = \sqrt{E_e^2 + E_{U_k} + 2E_e E_{U_k} \cos \Delta\varphi} \quad (4)$$

where E_e is the electron energy; E_{U_k} is the energy of the irradiation signal at the frequency of the resonant interaction; $\Delta\varphi$ is the phase difference of the interacting oscillations.

Simple calculations show that at a distance of 100 km, when a carbon-based dielectric sample is irradiated with an electromagnetic field with characteristics noted for the initial power of the backward radio wave, it will be $1.602 \cdot 10^{-7} \text{ W}$.

In addition to the indicated effect, under the action of resonant irradiation, a local conduction region will be formed with a lifetime of up to $1 \mu\text{s}$. The presence of this region is explained by the movement of electrons into the conduction band: that is, an electrical breakdown of the dielectric (semiconductor) occurs. That is, during the breakdown, it is possible to induce a secondary microwave electromagnetic field on the dielectric surface area and the accompanying reflection of a radio wave with an arbitrary carrier frequency.

In view of the foregoing, of practical interest is the possibility of determining the area of the local conduction region of a dielectric (semiconductor) when irradiated by a resonant electromagnetic microwave field. To do this, it is necessary to determine the intensity of the resonant radio emission material according to the formula:

$$I = \frac{\rho V U^2}{2} \quad (5)$$

where ρ is the density of the material; V is the speed of the radio wave; U is the amplitude of atomic vibrations.

In the case under consideration, the intensity of radio emission a carbon-type dielectric in an excited state is $16.2 \cdot 10^{-15} \text{ W} \cdot \text{m}^3$.

If we use the well-known formula [10],

$$S = \frac{E}{I} \quad (6)$$

where S is the area of the material sample; I is the intensity of radio emission; E is the energy of radio emission,

It can be argued that at a practical radar operating range of 100 km, it is possible to create a local conduction region with an area of 0.101 m^2 on the surface of a dielectric carbon coating.

This approach to remote control of the state of dielectric and semiconductor materials is of practical importance, since it expands the possibilities of locating aircraft (for our UAV study), marine and land objects, in the design of which nonmetals are increasingly used.

Until recently, it was believed that such phenomena as the excitation radio absorbers, the breakdown of insulators, the formation standing waves in impedance coatings are of a concomitant harmful nature and therefore were not purposefully reproduced in laboratory conditions and were not studied from the point of view technical implementation as an element weapon destruction [11-13].

Preliminary results of experimental studies are devoted to the study the phenomenon of excitation the internal crystal structure of radio-absorbing materials when they are irradiated with a microwave signal at a resonant frequency, opening up a wide space for further and deeper study of this phenomenon.

A number of experiments carried out on a laboratory basis and their metrological examination allow us to formulate a hypothesis. Its main is that in the case of irradiation a radio-absorbing material with a pulsed microwave electromagnetic signal with a carrier frequency that is a multiple the frequency of natural oscillations of an atom the crystal structure the substance under study (provided that the corresponding phases of the natural oscillations of an atom or the basic element for molecular structures coincide) and the initial phase of the irradiation signal, it is possible receive a response signal whose power is 4-16 times higher than the power consumed for excitation. This hypothesis is based on the provisions of the theory of Louis De Broglie, the Fabry-Perot theorem and the conditions for the emergence of multitone signals [14].

Thus, in order to develop a method for detecting a radar target with an artificially reduced RCS, it is necessary to analyze the phenomena that occur during exposure to microwave signals of radar absorbing materials and determine approaches to their practical application in practice.

According to experts, random phenomena accompanying the process of irradiation of radio-absorbing materials can be quite controllable, and most importantly, have sufficient validity for technical implementation.

From the basic ideas of modern radio physics, it is known that any materials are capable of accumulating microwave energy - the so-called resonant excitation, accompanied by the release of heat.

The effect of resonant excitation for each material is different (Table 1), but is accompanied by general patterns:

- radiation of energy by a substance during heating;
- ionization of the boundary layer of the coating;
- mechanical release of elementary particles from the crystal structure (coating assignment) [7].

Table 1

Indicators accompanying the effect of resonant excitation for some radio-absorbing and insulating materials

№	Material	H_{ef} , W/kg	T , °C	Chemical formula	Carbon content, %	Scattering coefficient of radio waves
1.	Graphite	573.16	3447	C ₂	100	0.01
2.	Silicon graphite	181.93	3227	SiC	50	0.02
3.	Soot	178.71	2227	CO ₂	33	0.031
4.	AF	161	2127	nCFCl	25-27	0.06
5.	LHX	121.3	2100	CF ₂ →[CFCl- CF]	18	0.1
6.	TAS	67.4	2027	2MgO·Al ₂ O ₃ ·5SiC	15	0.1
7.	Sital KPZh-9 (glass ceramic)	40.4	2000	2H ₂ O·Si ₂ ·Al ₂ O ₅	0	0.15

Table 1 draws attention to the carbon content to a greater or lesser extent in almost all radio absorbers and insulators. The presence of carbon in most screens can be explained from two points of view. First, according to the Bouguer-Lambert law, the high coefficient of absorption of electromagnetic field energy and a fairly high melting point makes this substance very practical in the synthesis of coatings in technologies of artificial reflection area reduction (RCS) [1]. Secondly, it can be assumed that the absence of carbon in the material of the last position of Table. 1 is explained by the use of sitals (glass ceramic) as radio-transparent radome. That is, the presence of carbon in the internal structure of the substance will shield the operation of radar systems covered by radome.

Improving the effectiveness of radar targets

The widespread use of various composite materials in microwave radar technology has proven itself well during their operation, but it was noted that their resource is small, and with intensive use in circulators and antenna equivalents, it is tens of hours or less [7]. In a number of published works [5] this is associated with the action of the enthalpy phenomenon (H_{ef})

It is proposed to increase the efficiency of radar targets with an artificially reduced RCS using a concentrated resonant electromagnetic field. This effect is accompanied by the concentration of electromagnetic field energy in the crystal structure of the radar-absorbing coating of the aircraft (UAV) due to the resonant irradiating signal, which causes temporary local conduction and thermal radiation. The effect is based on the purposeful creation of the enthalpy (7) effect, which manifests itself when irradiated with a resonant signal.

Thus, there is an interest in the analytical dependencies that relate the effective enthalpy to other parameters and characteristics:

$$H_{ef} = \frac{(h_1 - h_0) + \Gamma(h_2 + \psi(E))}{1 + \frac{h_3 \cdot q_1}{E \cdot q_2}} \quad (7)$$

where h_0 is the initial enthalpy of the substance; h_1 is the enthalpy of the ionized phase of the substance during the temperature heating of the substance T_p (Table 1); h_2 is the thermal effect of gasification of the components of the coating substance during microwave heating to T_p ; Γ is the degree of ionization of the coating material; h_3 is the thermal effect of coating excitation; $\psi(E)$ – coating heating coefficient due to irradiation with microwave energy signals; q_1/q_2 is the ratio of specific heat fluxes before irradiation and during irradiation with a microwave signal.

If we take into account the components of the analytical dependence (7), then it can be argued that the excitation and heating of the coating during the enthalpy directly depends on the energy flux density of the electromagnetic microwave field per unit mass and area of the substance. As noted, enthalpy is a by-product of radio exposure and has been widely observed but not reproduced in the laboratory.

In the case of purposeful control of this effect, there is a reasonable possibility of using enthalpy as a factor in excitation of UAV airborne target coatings with an artificially reduced reflective area (RCS). Such excitation will be effective if the following conditions are met:

- creating sufficient power per unit mass and area on the impedance coating of the aircraft;
- the temperature accompanying the excitation of the coating must exceed the radiation temperature of the fuselage and bearing surfaces of the aircraft.

Calculations using well-known techniques of radar and electrodynamics [5] (Table 2) indicate that ground-based radar devices can create the indicated conditions for the occurrence of resonant excitation at ranges up to 100 km.

Considering the simulation results, it can be assumed that in practice the use of this effect can be quite effective either at high power, which means fundamental changes in the design of the radar [15], or when implementing frequency-phase resonant radar methods.

Thus, the article presents science-based assumptions about the possibility of remote control of the conductive properties of a dielectric (semiconductor) under the action of a resonant electromagnetic microwave irradiation field.

Table 2

Summary table of the results of modelling the conditions for the occurrence of resonant excitation of radio absorbing coatings

№	Device	Pulse power of radiation, MW	Distance, km	Effective enthalpy, W/kg	Coating temperature, °C
1.	surveillance radar	0.5	100	17	100
2.	tracking radar	0.5	91	53	153
3.	tracking radar	0.7	100	98	207
4.	surveillance radar	0.5(under resonance conditions)	110.1	184	850

Some results of a comparative assessment the effectiveness of the original radar and the control system synthesized on its basis with adaptive algorithms are shown in Fig. 1, Fig. 2.

In particular, in Fig. 1 shows the probability diagrams for detecting and taking on target tracking for the corresponding RCS values.

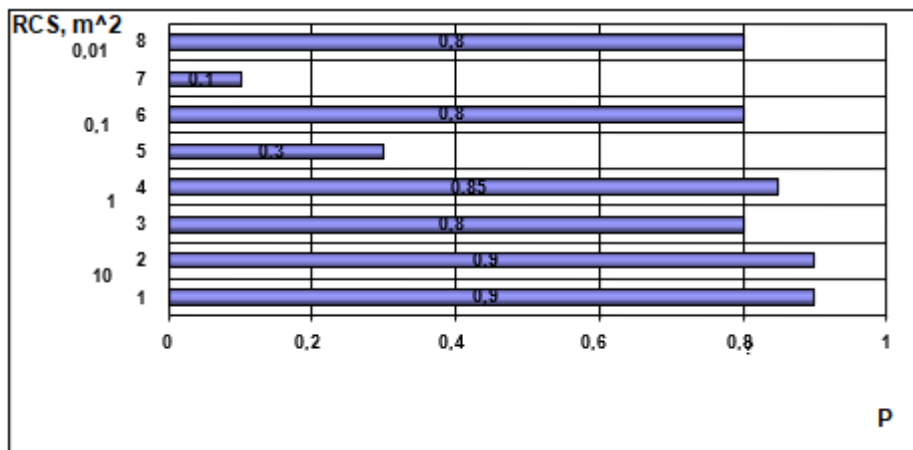


Fig. 1. Estimated probability of detecting and tracking a radar target with an artificially reduced RCS

On Fig. 2 shows a vertical section of the integrated radiation pattern of the improved radar at zero parameter.

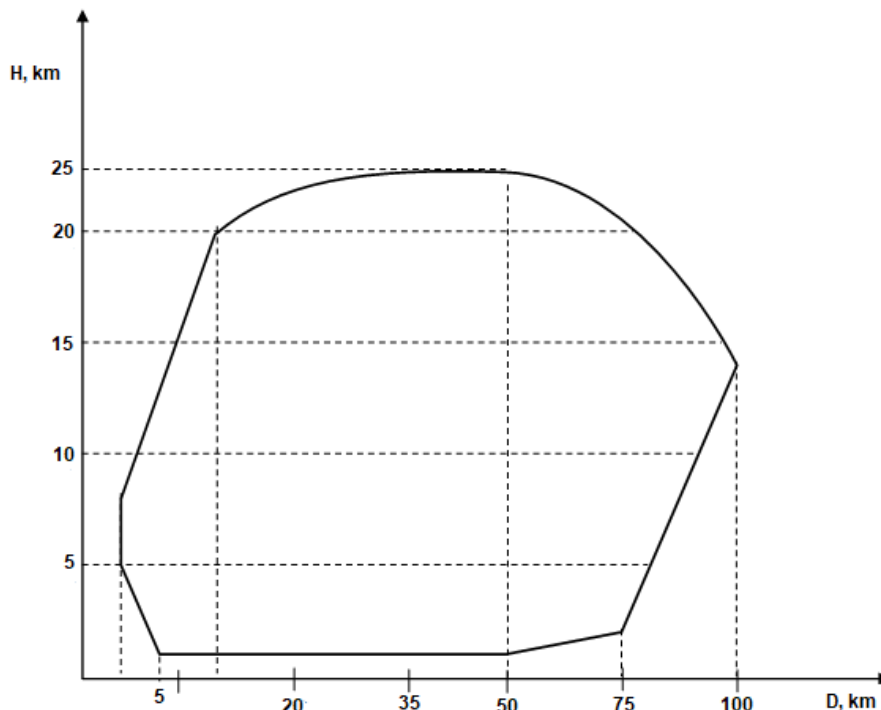


Fig. 2. Vertical section of the integral radiation pattern of the improved radar at zero parameter

Conclusion

Calculations make it possible to obtain practically sufficient results for the formation of the resonant excitation area and local conductivity of a carbon-type dielectric sample. The above calculations show that this area

is $\approx 0.1 \text{ m}^2$, i.e., sufficient for inducing a secondary microwave field and processing both the excitation signal and the reflection in existing receiving systems with a sensitivity of $\geq 10^{-13} \text{ W}$. Recent advances in the technology of creating the element base of radio equipment make it possible to produce powerful and at the same time small-sized transmitters. Under these circumstances, an increase in the power of the irradiation signal by 20–30% will increase the area of the local conduction region of the dielectric by a factor of 10, which will simplify the technical implementation of the method for locating objects whose construction contains more than 10% non-metallic substances.

Guidance of a radar target with an artificially reduced reflection area is possible using an adaptive method based on adapting the antenna control system to the conditions of information uncertainty caused by fluctuation of the excitation signal of the radar target's radar absorbing coating. The evaluation of the parametric sensitivity of the synthesized antenna control system on a mathematical model implemented using a PC shows a sufficient degree of "rough estimate" to the measurement errors of the parameters of the radar target. The developed control algorithms make it possible to provide the necessary probability of detecting and tracking a radar target in the event of input information distortion due to fluctuations in the excitation signal of the radar-absorbing target coating, expanding the potential capabilities of the radar.

Based on the results of modeling and experimental studies, it can be reasonably argued that it is expedient to use the phenomenon of resonant excitation of radar absorbing substances as a factor in increasing the efficiency of radar for objects with an artificially reduced RCS.

References

1. Parhomey I.R. Features of objects radar systems ranging from low reflection surface / I.R. Parhomey, J.M. Boiko // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2015. – №5. – S. 194-201.
2. Druzhynin V. A. Problemy formuvannya ta obrobky radiolokatsiinoi informatsii v systemakh radiobachennia : monohrafiia / V.A. Druzhynin. – Kyiv : Lohos, 2013. – 230 s.
3. Metody ta alhorytmy obrobky i zakhystu informatsii v radiolokatsiinykh systemakh iz zminnoiu prostorovoiu konfiguracyi : monohrafiia / V. A. Druzhynin, S.V. Toliupa, V.S. Nakonechnyi, N.V. Tsopa, Ye.V. Batrak. – Kyiv : Lohos, 2014. – 251 s.
4. Method for determining the location of sources of radio interference in passive location / V. A. Druzhynin, V. I. Korsun, K. A. Sokolov [ta in.] // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2019. – № 3. – S. 82–91.
5. Parkhomey I.R. Rozrobka pidkhodiv shchodo vykorystannia pobichnykh efektyv, yaki vynykaiut vnaslidok oprominennia rezonansnym NVCh – syhnalom pokryttiv litalnykh aparativ / I.R. Parkhomey // Adaptivni systemy avtomatychnoho upravlinnia. - 2012r.-№20(40). - S. 82 -87.
6. Maksymov M.V. Zashchyta ot radyopomekh / M.V. Maksymov. - Moskva: Sov. radyo. 1976, - 160s.
7. Parkhomey I.R. Rishennia rivniannia kolyvan u vypadku rezonansu oprominiuuchoho radiosyhnalu i krystalichnoi struktury radio pohlynaiuchoi kompozytnoi rechovyny / I.R. Parkhomey, A.D. Lemeshko // Adaptivni systemy avtomatychnoho upravlinnia. - 2011. - №18(38). - s. 89 -92.
8. Karavaev V.V. Statystycheskaia teoriya passyvnoi lokatsyy / V.V. Karavaev, V.V. Sazonov. – Moskva: Radyo. 1987. – 240 s.
9. Stergiopoulos S. Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture. The Journal of the Acoustical Society of America. 1990. V. 87, № 5. P. 2128–2140.
10. Parkhomey I.R. Vozmozhnie puty usovershenstvovanyia system navedeniia zenytnikh raket y zenytnikh raketnikh y artylleryyskykh kompleksov / I.R. Parkhomey, V.V. Fynenko // Artylleryiskoe y strelkovoie vooruzhenye. - 2005. -№1. - S.11-14.
11. Boiko J. M. Teoretychni aspekty pidvyshchennia zavodostiikosti y efektyvnosti obrobky syhnaliv v radiotekhnichnykh prystroiakh ta zasobakh telekomunikatsiinykh system za naiavnosti zavod: monohrafiia / J. M. Boiko, V. A. Druzhynin, S. V. Toliupa. - Kyiv: Lohos, 2018. - 227 s.
12. Parkhomey, I., Boiko, J., Tsopa, N., Zeniv, I., & Eromenko, O. (2020). Assessment of quality indicators of the automatic control system influence of accident interference. *Telkomnika*, 18(4), pp. 2070-2079.
13. Tishenko N.M. Vvedenie v proektirovanie sistem upravleniya / N.M. Tishenko - Moskva. Energoatomizdat. 1986 g., - 78s.
14. Фльдман Ю.И. Сопровождение движущихся целей. / Ю.И. Фльдман, Ю.Б. Гидасков, В.Н. Гомзин. – Москва: Советское радио. 1978 г., - 132с.
15. Boiko, J., Karpova, L., Eromenko, O., & Havrylko, Y. (2020). Evaluation of phase-frequency instability when processing complex radar signals. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(4), pp. 4226–4236

Література

1. Пархомей, І.Р. Особливості функціонування радіолокаційних систем локації об'єктів з низькою поверхнею віддзеркалення [Текст] / І. Р. Пархомей, Ю. М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – №5. – С. 194-201.
2. Дружинін В. А. Проблеми формування та обробки радіолокаційної інформації в системах радіобачення : монографія / В. А. Дружинін. – Київ: Логос, 2013. – 230 с.

3. Методи та алгоритми обробки і захисту інформації в радіолокаційних системах із змінною просторовою конфігурацією : монографія / В. А. Дружинін, С.В. Толюпа, В.С. Наконечний, Н.В. Цьопа, Є.В. Батрак. – Київ : Логос, 2014. – 251 с.
4. Методика визначення місцезнаходження джерел радіозавад в умовах пасивної локації /В. А. Дружинін, В. І. Корсун, К. А. Соколов [та ін.] // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 3. – С. 82–91.
5. Пархомей І.Р. Розробка підходів щодо використання побічних ефектів, які виникають внаслідок опромінення резонансним НВЧ – сигналом покриттів літальних апаратів / І.Р. Пархомей // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2012р.-№20(40). - С. 82 -87.
6. Максимов М.В. Защита от радиопомех / М.В. Максимов. - Москва: Сов. радио. 1976г., - 160с.
7. Пархомей І.Р. Рішення рівняння коливань у випадку резонансу опромінюючого радіосигналу і кристалічної структури радіо поглинаючої композитної речовини / І.Р. Пархомей, А.Д. Лемешко // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2011р. - №18(38). - С. 89 -92.
8. Караваев В.В. Статистическая теория пассивной локации / В.В. Караваев, В.В. Сазонов. – Москва: Радио. 1987. – 240 с.
9. Stergiopoulos S. Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture. The Journal of the Acoustical Society of America. 1990. V. 87, № 5. P. 2128–2140.
10. Пархомей І.Р. Возможные пути усовершенствования систем наведения зенитных ракет и зенитных ракетных и артиллерийских комплексов / І.Р. Пархомей, В.В. Финенко // Артиллерийское и стрелковое вооружение. - 2005. -№1. - С.11-14.
11. Бойко Ю. М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад: монографія / Ю. М. Бойко, В. А. Дружинін, С. В. Толюпа. - Київ: Логос, 2018. - 227 с.
12. Parkhomey I. Assessment of quality indicators of the automatic control system influence of accident interference / I. Parkhomey, J. Boiko, N. Tsopa, I. Zeniv, O. Eromenko //Telkomnika. – 2020. – Т. 18. – №. 4. – С. 2070-2079.
13. Тищенко Н.М. Введение в проектирование систем управления / Н.М. Тищенко - Москва. Энергоатомиздат. 1986 г., - 78с.
14. Фльдман Ю.И. Сопровождение движущихся целей. / Ю.И. Фльдман, Ю.Б. Гидасков, В.Н. Гомзин. – Москва: Советское радио. 1978 г., - 132с.
15. Boiko J. Evaluation of phase-frequency instability when processing complex radar signals / J. Boiko, L. Karpova, O. Eromenko, Y. Havrylko //International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2020. – Т. 10. – №. 4. – С. 4226.

Рецензія/Peer review : 09.01.2022 р.

Надрукована/Printed :28.02.2022 р.

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-191-195
UDC 631.3.004

HAJIYEVA BAHAR SABIR GIZI

ORCID : 0000-0001-6101-5714

e-mail: hacyevabahar622@gmail.com

Ganja State University, Ganja city, Azerbaijan

NEW METHODS OF MILK AND DAIRY PRODUCTS PROCESSING AND HEALTH EFFECTS

The purpose of this article is to analyze the technology of fermented dairy products, which is among the production technologies of milk and dairy products. As is well known, milk and dairy products are among the most important nutrients for growing, developing and leading a healthy lifestyle. In order to make the most of the important human qualities of milk, a number of technologies are used to increase its durability, protect the health of consumers and obtain various dairy products. Thanks to these rapidly developing production technologies from the past to the present, it has become possible to obtain more standard and high-quality milk and dairy products.

The article examines milk and its composition, the importance of milk and dairy products for human health, the development of milk and dairy products, the main technologies of milk production, research in the field of fermented milk technology, written scientific works and articles on milk and dairy products. The information contained in the portals of the engaged enterprises was used. The article examines milk and its composition, the importance of milk and dairy products for human health, the development of milk and dairy products, the main technologies of milk production, research in the field of fermented milk technology, written scientific works and articles on milk and dairy products. The information contained in the portals of the engaged enterprises was used.

The technologies used in the processing of milk and dairy products affect both the quality and consumption of these products, as well as the health of producers. Recently, new technologies used in the processing of milk and dairy products are considered important in terms of the quality of the products obtained. The article examines the features of these technologies, the processing process and the specifics of the products obtained. This is important for both researchers and consumers interested in dairy processing.

As a result, it is noted that in recent years there has been a significant increase in interest in the impact of milk and dairy products on human health. Today, such products are called functional, that is, products that have an impact on health in addition to their nutritional value.

It is emphasized that the technologies used to preserve the nutritional value of milk and clean it from bacteria harmful to human health are gradually developing. This increases the consumption of milk and dairy products and maximizes their health benefits.

Keywords: milk and dairy products, pasteurized milk production technologies, fermented milk products.

ГАДЖІЄВА БАХАР САБІР ГІЗИ

Гянджинський Державний Університет, м.Гянджа, Азербайджан

НОВІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА ТА МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ І ОЗДОРОВЧИЙ ВПЛИВ

Метою цієї статті є аналіз технології кисломолочних продуктів, що відноситься до технологій виробництва молока та молочних продуктів. Як відомо, молоко та молочні продукти є одними з найважливіших поживних речовин для зростання, розвитку та ведення здорового способу життя. Щоб максимально використати важливі для людини якості молока, застосовують низку технологій, що дозволяють підвищити її довговічність, захистити здоров'я споживачів та отримати різноманітні молочні продукти. Завдяки цим технологіям виробництва, що швидко розвиваються, з минулого в даний час стало можливим отримувати більш стандартне і якісне молоко і молочні продукти.

У статті розглядаються молоко та його склад, значення молока та молочних продуктів для здоров'я людини, розробка молока та молочних продуктів, основні технології виробництва молока, дослідження в галузі кисломолочної технології, написані наукові роботи та статті про молоко та молочні продукти. Використовувалась інформація, що міститься на порталах залучених підприємств.

Технології, що використовуються при переробці молока та молочних продуктів, впливають як на якість та споживання цих продуктів, так і на здоров'я виробників. Останнім часом важливими з точки зору якості продуктів вважаються нові технології, що застосовуються при переробці молока і молочних продуктів. У статті розглядаються особливості цих технологій, процес обробки та специфіка одержуваних продуктів. Це важливо як дослідників, так споживачів, зацікавлених у переробці молочних продуктів.

В результаті зазначається, що останніми роками значно зріс інтерес до впливу молока та молочних продуктів на здоров'я людини. Сьогодні такі продукти називають функціональними, тобто продуктами, що впливають на здоров'я, крім своєї харчової цінності.

Наголошується, що технології, які застосовуються для збереження харчової цінності молока та його очищення від шкідливих для здоров'я людини бактерій, поступово розвиваються. Це збільшує споживання молока та молочних продуктів і максимізує їхню користь для здоров'я людини.

Ключові слова: молоко та молочні продукти, технології виробництва пастеризованого молока, кисломолочні продукти.

Introduction (Relevance of the topic) milk; It is a very rich source of vital nutrients such as protein, fat, lactose, vitamins, minerals, enzymes, hormones and immunoglobulin. Dairy products can be consumed not only to

meet the nutritional needs of consumers, but also for their role in preventing various ailments such as obesity, osteoporosis, dental caries, poor gastrointestinal health, cardiovascular diseases, hypertension, and colorectal cancer. Leading nutritionists consider milk and dairy products an important part of a balanced diet. In this study, the technological features of the production of milk and dairy products, the production of fermented milk products are emphasized.

Analysis of existing literature; Health is one of the most important criteria in food selection in developed countries. Diet significantly influences an individual's risk of obesity, cardiovascular disease, cancer, and other lifestyle-related diseases. [1; 2;]. Whether milk or fermented milk products have long been an important part of the human diet, fermented milk products are known to have various therapeutic properties.

Milk is a porcelain-white food with a unique taste and odor, which is secreted in the mammary glands to feed the newborn babies of female mammals and contains all the nutrients needed by the baby in the required proportions.

Milk contains most of the essential nutrients found separately in other foods. It is an important source to meet the body's need for Ca, P and B2 vitamins. It is also a good source of high-value protein, especially essential amino acids. In addition, it also contributes to the meeting of vitamin A and vitamin B1. One liter of milk provides 685 kilocalories of energy [3, p. 3].

In order to preserve these properties of milk, which is a basic food in terms of essential nutrients, especially protein, mineral substances and vitamins, as well as protective properties, raw milk should be milked, cooled and stored from the breast in accordance with the rule and correctly.

Milk is named according to the organism from which it is obtained. For example, cow's milk, sheep's milk, breast milk. However, when milk is mentioned in the food sector, cow's milk is generally understood.

The milk yield of dairy animals and the proportions of the substances in its composition also vary with the effect of the breed. For this reason, crossbreeding studies between animal breeds are carried out to develop dairy animals with high milk yield and rich milk composition. Table 1 contains the composition of the milk of various humans and a number of animals. As can be seen from this table, sheep and buffalo milk differ from other milks in terms of solid content and fat content.

Table 1

Milk content of humans and some animals (%).

Type of milk	Water	Solid substance	Oil	Protein	Lactose	Ash
Human milk	88.00	12.00	3.3	1.84	6.5	0.36
Cow's milk	87.25	12.75	3.7	3.60	4.7	0.75
Sheep's milk	81.70	18.30	6.3	6.20	4.9	0.90
Goat's milk	86.05	13.35	4.2	3.90	4.4	0.85
Buffalo milk	82.55	17.55	8.0	5.80	4.2	0.75

Source: Food technology.2013: 9.

Production of Pasteurized and Sterilized Drinking Milk. The term pasteurization is used for certain heat treatments. The term derives from the name of French scientist Louis Pasteur, who in the 1860s found that wine had to be heated to 50-60°C to be stable. The first reliable commercial pasteurizers were introduced in 1922. The process developed rapidly in the following years and became an important position in the dairy industry.

Sterilized drinking milk is the drinking milk obtained by the sterilization process in hermetically sealed opaque packages and the destruction of all microorganisms and their spores that cause deterioration.

According to the food codex of a number of countries, pasteurization; It is made to reduce the number of all vegetative forms of pathogenic microorganisms in milk, a large part of other microorganisms, extending the shelf life of milk, resulting in minimal physical, chemical and sensory changes, and for at least 15 seconds at 72°C or 30 minutes at 63°C or other equivalent heat treatment carried out under conditions [4, p.17].

According to the same communiqué, pasteurized drinking milk refers to drinking milk that is obtained by completely destroying the vegetative forms of pathogenic microorganisms and a large part of other microorganisms by applying pasteurization without harming the natural and biological properties of raw milk and cooled to a temperature not exceeding 6°C in a short time after pasteurization.

The purposes of pasteurization are:

- Destroying vegetative forms of all unhealthy bacteria in milk, in other words making milk safe for human consumption;

- Prolonging the durability period by providing a certain reduction in terms of other microorganisms without spoiling the flavor of milk;

While these two purposes are quite different from each other, in practice they are highly interrelated.

Pasteurization is carried out by a number of methods:

1. Long-term pasteurization at low temperature. 1. Long-term pasteurization at low temperature. The pasteurization temperature is controlled with a thermometer and when the temperature of the milk in the tank reaches the desired temperature, it is kept at this temperature for a certain period of time. The heat treatment norms applied in this process are 30-32 minutes at 62-65°C.

2. Short-term-ultra pasteurization at high temperature. In this method, milk is heated up to 72-75°C and kept at

this temperature for at least 15-20 seconds. In this method, heat exchangers operating according to the continuous flow system are used. Heat exchangers can be plated or tubular. Heat exchangers can be plated or tubular.

3. Pasteurization with plate heat exchangers. Plate heat exchangers are the most commonly used type in the pasteurization of milk. The plates are made of stainless steel and their thickness varies between 0.25-1.25 mm. The surfaces of the plates have a corrugated shape. With such a design, it is possible to transmit the heat to the milk at the most appropriate level.

4. Plate pasteurization with hot water heating. Here, pre-pasteurized milk is preheated to approximately 58°C. Then it is sent to the separator and cleaned. The oil ratio is standardized and homogenized if necessary. The milk coming out of the heating section is sent to the holding pipe by means of a pump, where it is kept for the desired time.

5. Vacuum steam heated pasteurization.

Sterilization method is the hermetic packaged product, which destroys all microorganisms and spores that will cause deterioration under normal storage conditions, in order to obtain a commercially sterile product that can be stored at room temperature, in a suitable time-temperature combination such as at least 13 minutes at 115°C or 3 minutes at 121°C, It is a long-term heat treatment at high temperature.

Sterilization methods applied in the production of long-lasting drinking milk can be grouped under two groups: Classic sterilization. Sterilization of milk with the classical method is done by heating at 110-120°C for 20-40 minutes. Sterilization of milk with the classical method is done by heating at 110-120°C for 20-40 minutes. Pressures above atmospheric pressure are required for sterilization of milk in an autoclave above 100°C [4, p. 23].

Sterilization in an autoclave (batch). All heat treatments at temperatures above 100°C are carried out in closed systems called autoclaves, operating at a pressure above atmospheric pressure. Steam or water is used as a heating medium in autoclaves. If water is used as the heating medium, that is, if the sterilization process is carried out in water, temperatures above 100°C are achieved by heating this water with steam and trapping the steam in the autoclave in the form of saturated steam.

Sterilization in steam cabinets. Cabinets used for sterilization are designed to be resistant to pressure. Steam is given directly into the cabinet by the steam pipes located under the perforated cabinet floor, and the milk is heated by the steam. The condensed steam is removed from the cabinet with the discharge pipe.

The volitional process of long-life milk. UHT is an acronym consisting of the initials of the English words "Ultra High Temperature" (UHT). UHT milk means milk that has been heat treated at ultra-high temperature. The principle of this method is to increase the temperature of the milk to a very high temperature (135° C-140° C) and to keep it at this temperature for a very short time (2-5 seconds) to destroy the microorganisms and spores in the milk [5, p.10]. The temperature-time values used in the UHT method ensure that all microorganisms that cause milk spoilage are killed. With this application, the substances (enzymes) that cause deterioration in the milk are also controlled and the milk becomes almost sterile. However, heat treatment alone is not sufficient for UHT sterilized milk to last longer than pasteurized milk. After this application, the milk is filled in sterile packages under completely sterile conditions.

On the other hand, it is not possible to process all raw milk into UHT milk. Raw milk with very high microbiological quality should be used in UHT milk production [6, p. 99-100]. Therefore, UHT milk, which is obtained by heat treatment of high-quality raw milk with the least change in its nutritive and natural qualities, and whose production is completed by filling it in boxes under sterile conditions after sterilization, without allowing any microorganism contamination, lasts longer because there is no decomposition factor left in it.

One of the methods used to obtain long-lasting milk is the indirect UHT method. In the indirect UHT method, the milk is homogenized as a rule after preheating. The heating of milk to high temperatures is carried out in heat exchangers. After sterilization, the milk is sent to the deaerator under vacuum in order to remove the undesirable aroma substances and gases formed in it. In some UHT facilities that operate indirectly, the sterilized milk is sent to the expansion vessel after sterilization, where its temperature is reduced from 138°C to 112°C in a very short time. The hot water in the system should be circulated throughout the system for 30 minutes and the surfaces that will come into contact with the milk should be sterilized before starting the work. Raw milk, taken from the balance tank by pump, passes through the first part of the sterilization ring and goes to the regeneration section, where preheating is performed. Preheating is done in two stages. In the first stage, the temperature is increased to 65°C. The milk heated to 65°C is sent to the homogenizer with the help of a by-pass and after the homogenization process, it comes to the second stage with pressure and the preheating process is completed.

The preheated milk is sent to the sterilization department. Here, it is brought to the sterilization temperature of 135-150 °C with the help of steam in the plate heat exchanger and kept at this temperature for a few seconds. The milk coming from the plate heater comes to the regeneration section and pre-cooling is done. The main cooling is carried out with cold water in a plate cooler.

Milk sterilized by direct or indirect method and cooled to filling temperature (20°C) is sent either directly to the aseptic packaging machine or into sterile containers for storage. Sterile containers, which are resistant to a certain pressure and equipped with special auxiliary equipment, are double-walled and designed as cylindrical and curved on both sides.

Storage containers can be placed vertically or horizontally. It is sterilized at 35°C for 45 minutes before use. The pipes that enter the tank and take the product to the packaging machine are also sterilized at the same time. Then, the surfaces are cooled with the help of cold water passing between the double walls. Pressurized sterile air is supplied to remove the condensate water and after the tank surfaces reach 20°C, the product is taken inside [7, p.291].

No protective additives are used in dairy products sterilized by UHT technique. In the production of commercial drinking milk (pasteurization, UHT), there is no significant change in the basic nutrients (protein, fat,

carbohydrate) of the milk, while losses occur in some water-soluble vitamins. These are negligible compared to the boiling process. These are negligible compared to the boiling process.

Fermented products such as yogurt and kefir can be easily produced using UHT milk.

Production of fermented dairy products. The concept of fermentation is a phenomenon that generally covers many complex processes that result in biochemical reactions performed by microorganisms, and as a result, energy is obtained through the oxidation of organic components (such as carbohydrates). Anaerobic microorganisms, which do not use oxygen, produce a series of flavor and aroma compounds as fermentation products while continuing their vital activities by using sugars. In addition, they convert sugars into ethanol, lactic acid and hydrogen.

Fermentation, which has an important place in food technology, is an important unit of biotechnology with the production of alcohol and acid from sugars under anaerobic conditions.

Fermentation shares a history with human history in dairy products. While humans benefited from the animals around them, fermented products formed important dairy products as their main source. This mechanism, which forms an integral part of natural life and was discovered by chance, forms the basis of the fermented milk products sector, which is an industrial area today.

As a result of fermenting milk using various starter cultures, products with different taste, aroma and structure are obtained and these products are called fermented milk products. There are more than 400 yoghurt and similar and fermented milk products known under different names in the world, which basically show similar characteristics.

Fermented dairy products:

- products produced by lactic acid fermentation;
- products produced by yeast-lactic acid fermentation;
- it can be classified as products produced by mold-lactic acid fermentation.

The main fermented dairy products can be listed as yoghurt, yoghurt derivative fermented dairy products, buttermilk, kefir, kumiss.

When we say fermented dairy products, the following definitions are understood [8, p.4]:

- Fermented milk product: Dairy products, which are produced by the fermentation of milk by suitable microorganisms and lowering the pH value in a way that will cause or not cause coagulation, and that contain microorganisms in sufficient numbers, live and actively;
- Yoghurt: Fermented milk product that specifically uses symbiotic cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* for fermentation;
- Acidophilus milk: Fermented dairy product in which a specific culture of *Lactobacillus acidophilus* is used for fermentation;
- Kefir: It is a starter culture product containing fermented kefir grains or fermenting yeasts (*Saccharomyces unisporus*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces exiguus*) with different strains of *Lactobacillus kefir*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* and *Acetobacter* genera and yeasts that ferment lactose (*Kluyveromyces marxianus*) and do not. Kefir is a diet dairy product fermented with a mixture of alcohol and lactic acid. Its yeast contains kefir mushrooms, lactic acid yeast streptococci and milk yeast. The milk is pasteurized, cooled, and up to 5% of bacterial working yeast is added. Store at 18-24°C for 8-16 hours. The acidity increases to 75-800T during this period. The product is cooled to 8-11°C and stored for 12-36 hours for yeast development. Kefir is made of 2.5%, 3.2% and 6% fat and fat-free. It contains 0.2-0.6% ethyl alcohol [9, p.240].
- Kumiss: Fermented milk product using specifically *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Kluyveromyces marxianus* cultures for fermentation;
- Buttermilk: Fermented milk product prepared by adding water in yogurt or adding cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* to milk whose dry matter is adjusted;
- Concentrated fermented dairy products: Fermented dairy products such as strained yoghurt or bag yoghurt, winter yoghurt, labneh, salted yoghurt, kurut, whose protein ratio is increased to at least 5.6% before or after fermentation;
- Powdered/dried fermented dairy products: Fermented dairy products such as yoghurt powder with a moisture content of less than 5%;
- Assorted fermented dairy products: Up to 50% by weight of sugar and/or sweetener, fruits and vegetables and their juices, purees, pulps and preparations and preserves thereof, cereals, honey, chocolate, nuts, coffee, spices and other counterfeit and adulteration composite dairy product containing non-dairy ingredients such as non-dairy flavorings;
- Fermented dairy product heat-treated after fermentation: A dairy product whose fermentation has been stopped by heat treatment.

There are many health benefits associated with the consumption of fermented dairy products. Many studies have shown that some fermented milk products have antimicrobial, antimutagenic, anticarcinogenic, antihypertension properties and have benefits on mineral metabolism, reduce food allergy symptoms and LDL cholesterol levels. It is known that dairy products are the main carriers of probiotic microorganisms, and there are many clinical studies showing the health effects of probiotic strains. Based on these findings, it can be said that probiotic dairy products can have positive physiological effects on humans, but more research is needed on such products [10, p.122].

It has been clinically shown that some diseases related to the gastrointestinal system such as lactose

intolerance, diarrhea, colon cancer, inflammatory bowel disease and other bacterial infections can be prevented by excessive consumption of yogurt [11, p.261].

In recent years, there has been an increasing interest in preventive health services compared to disease curative approaches all over the world. Consuming food produced with probiotic microorganisms is becoming more and more common. Probiotics can be defined as live microbial food supplements that benefit the host by improving the microbial balance of the gut. Whether living microorganisms are essential for specific health benefits remains unclear [2, p.303]. But among the most promising health effects of probiotics are improving acute diarrhea in children, reducing the risk of respiratory infections, alleviating infant milk allergy, and alleviating irritable bowel syndrome. Probiotics exert their beneficial effects on health by normalizing the host's microbiota, inhibiting pathogens, interacting with the host's immune system, and maintaining their own metabolic activities. The possible health benefits associated with consuming probiotic foods have been shown in many studies [12, p.49].

Results: In recent years, interest in the effects of milk and dairy products on human health has increased considerably. Today, such products are called functional, that is, foods that have an impact on health beyond their nutritional value.

Technologies applied to protect the nutritional value of milk and to purify it from harmful bacteria for human health are gradually developing. This increases the consumption of milk and dairy products and maximizes their benefits for human health.

Milk is a rich source of nutritious compounds that can be enriched and/or modified to provide the best benefit to consumers. It has been shown by many studies that the products produced as a result of fermentation with milk lactic acid bacteria (LAB) have many benefits for health as well as protecting milk. Today, the interest in preventive health practices has increased. In this respect, it is thought that especially dairy products fermented by probiotic microorganisms stimulate the immune system by improving the human microbiota.

Today, despite all scientific research, the effects of fermented milk products and accompanying microorganisms on human health are still not fully understood. It is thought that a clearer understanding of the effects of fermented milk products on human health will make an important contribution to preventive health practices.

References

1. Lappalainen, R., Kearney, J., Gibney, M., 1998. A pan European survey of consumer attitudes to food, nutrition and health: An overview. *Food Qual. Prefer*, 9, pp. 467-478. (in English)
2. Shiby, V.K. and Mishra, H.N., 2013. Fermented milks and milk products as functional foods. A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53:5, pp. 482-496. (in English)
3. Gıda teknolojisi (2013). [Food technology. Commissioning the milk. Ankara, Ministry of National Education], Sütü işletmeye alma. Ankara, Milli Eğitim Bakanlığı. (in turkish)
4. Gıda Teknolojisi (2019). [Food Technology. Milk and dairy products technology. Ankara: Ministry of National Education], Süt ve süt ürünleri teknolojisi. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı. (in turkish)
5. Burton H. (1983), Bacteriological, chemical, biochemical and physical changes that occur in milk at temperatures of 100-150°C. *Int. Dairy Fed. Bulletin*, No 157, International Dairy Federation, 41 Square Vergote, B-1040, Brussels (Belgium). pp. 3-16. (in English)
6. Gürsel, A. (2010). Gürsel, A. [Drinking milk technology. Ankara: Ankara University Press], İçme sütü teknolojisi. Ankara: Ankara Üniversitesi. (in turkish)
7. Özer, B. (2006), Özer, B. [Yogurt science and technology. Izmir: Sidas Media], Yoğurt bilimi ve teknolojisi. İzmir: Sidas Medya. (in turkish)
8. Fermente süt ürünleri üretimi (2016). [Production of fermented dairy products. Ankara: Ministry of National Education], Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı. (in turkish)
9. Əhmədov, Ə., Quliyeva, F., Quliyeva, L. (2018). Ahmadov, A., Guliyeva, F., Guliyeva, L. [General technology of consumer goods production. Bakı: University of Economics], İstehlak malları istehsalının ümumi texnologiyası. Bakı: İqtisad Universiteti. (in azerbaijani)
10. Granato, D., Branco, G.F., Cruz, A.G., Faria, J. ve Shah, N.P. (2010). Probiotic dairy products as functional foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, No: 9, pp. 455-470. (in English)
11. Shah, N. P. (2013). Health benefits of yogurt and fermented milks. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Second Edition. Edt: R.C. Chandan, A. Kilara, Publisher: Wiley-Blackwell, pp.433-450. (in English)
12. Demirgöl, F., Sağdıç, O. (2018). Demirgul, F., Sakhdic, O. [Effect of fermented milk products on human health. *European Journal of Science and Technology*. No: 13], Fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. No: 13, pp. 45-53. (in turkish)

Рецензія/Peer review : 11.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

ГАНЗЮК А. Я.

ORCID ID: 0000-0002-4954-8355

e-mail: alla.ganzyuk@gmail.com

Хмельницький національний університет

МАСЛО Л. В.

Хмельницький торговельно-економічний коледж

Київського національного торговельно-економічного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДГОНКИ ПАЛИВА НА ЙОГО ОСНОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Широке і неухильне збільшення масштабів застосування природних адсорбентів обумовлено тим, що володіючи розвинутою питомою поверхнею і хорошими (часто специфічними), відбілюючими властивостями, вони в десятки разів дешевше штучних адсорбентів. У зв'язку з цим спрощується технологія їх застосування: зі схеми часто виключають стадію регенерації. Хімічна та термічна стабільність сапонітів, а також іонообмінні властивості, відкривають можливості для створення пористих матеріалів на основі природних мінералів з контрольованими властивостями, що здатні замінити синтетичні аналоги, отримання яких пов'язане з високими технологічними витратами. Вивчено доцільність очищення вуглеводневих сумішей з використанням гранульованого сапоніту з метою отримання високооктанових палив. Досліджено вплив температури відгонки палива на його основні фізико-хімічні показники. Оцінено фракційний склад палива, на який впливають такі показники, як: швидкість прогріву двигуна, зношування циліндрично-поршневої групи.

Ключові слова: адсорбція, нафтопродукти, хроматографія, октанове число, сапоніт, тиск насиченої пари.

ALLA GANZYUK

Khmelnytsky National University

LESYA MASLO

Khmelnytsky College of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics

THE INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF FUEL DISTILLATION TEMPERATURE ON ITS MAIN PHYSICO-CHEMICAL INDICATORS

Widespread and indispensable growth of natural adsorbents use is caused by the fact that they, having developed specific surface and good (often specific) bleaching peculiarities, are dozens of times cheaper than artificial adsorbents. It leads to simplification of its usage technology – they often exclude the regeneration stage from the scheme. Chemical and thermal stability of saponite, as well as ion exchange properties, open opportunities for the creation of porous materials based on natural minerals with controlled properties that can replace synthetic analogues, the production of which is associated with high technological costs. The increase in the use of natural adsorbents is based on its specific surface area and good bleaching properties which are ten times cheaper than artificial adsorbents. In this regard, the technology of their application is simplified: the regeneration stage is often excluded from the scheme. Chemical and thermal stability of saponites, as well as ion exchange properties, open up new avenues for the creation of porous materials based on natural minerals with controlled properties that can replace synthetic analogues, the production of which is associated with high technological costs. The expediency of purification of hydrocarbon mixtures using granular saponite to obtain high-octane fuels has been studied. The influence of fuel distillation temperature on its main physicochemical parameters has been studied. The fractional composition of fuel, which is affected by such indicators as: engine warm-up speed, wear of the cylinder-piston group have been investigated. The obtained results of investigations of structural, physic and chemical properties of natural minerals allow to develop theoretical and practical bases of target change of the complex of specific properties that satisfy the basic requirements, which are put forward for sorption materials. The chemical and thermal stability of glauconites, as well as ion-exchange properties, provide opportunities for the production of porous materials based on natural minerals with controlled properties that can replace synthetic analogues associated with high technological costs.

Keywords: adsorption, petroleum products, chromatography, octane rating, saponite, vapor pressure.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Найбільша кількість забруднень антропогенного походження попадає в атмосферу в результаті спалювання різних видів палива, основу якого складають органічні речовини – нафта і нафтопродукти, кам'яне і буре вугілля, пальні сланці, газ, дрова, торф [1]. Великі промислові центри створюють надфонову концентрацію зважених часток, оксидів сірки, азоту, вуглецю на десятки та сотні кілометрів навколо себе. У великих містах і поблизу автомагістралей основне джерело забруднення приземних шарів повітря – автотранспорт. На нього приходиться 90% чадного газу, що взагалі викидається в атмосферу. Вихлопні гази дають одну третю вуглекислого газу, що викидається в повітря, сприяють утворенню парникового ефекту, який викликає глобальне потепління. Летючі органічні речовини, такі як поліароматичні вуглеводні та бензен, викликають утворення смогів. Викиди вуглеводнів є наслідком не повного згорання палива. Це можуть бути гази чи тверді частинки. Бензен, що потрапляє у атмосферу з вихлопами та випарами з бензобаків та бензоколонок під час заправки автомобілів може викликати рак легень та респіраторні захворювання [2-3]. Серед методів, які успішно використовуються для очищення вуглеводневих сумішей, найбільш перспективним є сорбційна очистка на основі природних сорбентів [4]. Це пов'язано, по-перше, з дешевизною і доступністю природних мінералів, що дозволяє їх одноразово використовувати; по-друге, природні алюмосилікати, на відміну від смол, характеризуються підвищеною вибірковістю, як до катіонів металів, так і до органічних барвників, парафінів, ароматичних сполук. Але, незважаючи на вище наведені

переваги, природні алюмосилікати мають невисоку сорбційну ємність і недостатню механічну міцність, а тому їх фільтраційні характеристики низькі, і використання у динамічному режимі при високих навантаженнях є утрудненим.

Об'єкт дослідження: гранульований сорбційний матеріал на основі сапонітової глини Ташківського родовища Хмельницької області.

Предмет дослідження: сорбційні процеси очищення вуглеводневих сумішей з використанням сапонітового грануляту.

Виклад основного матеріалу

Фізико-хімічні властивості автомобільних бензинів і регульовальні параметри двигунів повинні бути ретельно пов'язані один з одним. До основних характеристик автомобільних бензинів відносять: детонаційну стійкість, випаровуваність (фракційний склад і тиск насичених парів), хімічну стабільність, теплоту згорання, експлуатаційні властивості.

Детонаційна стійкість. Цей показник характеризує здатність автомобільних бензинів протистояти самозайманню при стисканні. Висока детонаційна стійкість палив забезпечує їх нормальне згорання на всіх режимах експлуатації двигуна. Процес горіння палива в двигуні носить радикальний характер. При стисканні робочої суміші температура і тиск підвищуються і починається окиснення вуглеводнів, яке інтенсифікується після займання суміші. Якщо вуглеводні незгорілої частини палива володіють недостатньою стійкістю до окиснення, починається інтенсивне накопичення пероксидних сполук, а потім їх вибуховий розпад. При високій їх концентрації відбувається тепловий вибух, який викликає самозаймання палива. Самозаймання частини робочої суміші перед фронтом полум'я призводить до вибухового горіння решти палива, до так званого детонаційного згорання. Детонація викликає перегрів, підвищений знос або навіть місцеві руйнування двигуна і супроводжується різким характерним звуком, падінням потужності, збільшенням димності вихлопу. На виникнення детонації впливає склад бензину, який застосовують і конструктивні особливості двигуна.

Показником детонаційної стійкості автомобільних бензинів є октанове число, що показує вміст ізооктану (в % об'ємних) в суміші з н-гептаном, яка по детонаційній стійкості еквівалентна паливу, випробуваному в стандартних умовах. У лабораторних умовах октанове число автомобільних бензинів та їх компонентів визначають на одноциліндрових моторних установках УІТ-85 або 9УІТ-65[3]. Схильність досліджуваного палива до детонації оцінюється порівнянням його з еталонним паливом, детонаційна стійкість якого відома. Октанове число на установках визначається двома методами: моторним (по ГОСТ 511-82) і дослідним (по ГОСТ 8226-82). Методи відрізняються умовами проведення випробувань. Випробування по моторному методу проводять при більш напруженому режимі роботи одноциліндровою установки, ніж по дослідницькому. Тому октанове число, визначене моторним методом, зазвичай нижче октанового числа, визначеного дослідним методом. Октанове число, отримане моторним методом більшою мірою характеризує детонаційну стійкість палива при експлуатації автомобіля в умовах підвищеного теплового форсованого режиму, октанове число, отримане дослідним методом, більше характеризує бензин при роботі на часткових навантаженнях в умовах міської їзди. Різницю між октановими числами бензину, визначеними двома методами, називають чутливістю бензину. Найбільшою чутливістю (від 9 до 12 од.) Відрізняються бензини каталітичного крекінгу і каталітичного риформінгу, що містять ненасичені і ароматичні вуглеводні. Менш чутливі (від 1 до 2 од.) до режиму роботи двигуна алкілбензин і прямогонні бензини, що складаються з парафінових і ізопарафінових вуглеводнів. Для автомобільних бензинів, за винятком А-76, визначаються і нормуються октанові числа, винятково двома методами. Вимоги до детонаційної стійкості бензинів залежать від конструктивних особливостей двигуна, визначальним серед яких є ступінь стискання. Таким чином, прогрес в автомобілебудуванні призводить до постійного підвищення вимог до детонаційної стійкості застосовуваних бензинів. Детонаційна стійкість автомобільних бензинів визначається їх вуглеводневим складом. Найбільшою детонаційною стійкістю володіють ароматичні вуглеводні. Найнижча детонаційна стійкість у парафінових вуглеводнях, причому вона зменшується зі збільшенням їх молекулярної маси. Ізопарафіни і олефінові вуглеводні володіють більш високими антидетонаційними властивостями в порівнянні з нормальними парафінами [4]. Збільшення ступеню розгалуженості і зниження молекулярної маси підвищує їх детонаційну стійкість. За детонаційної стійкості нафти перевершують парафінові вуглеводні, але поступаються ароматичним. Найбільшу чутливість – різницю між октановими числами по дослідницькому і моторному методам – мають олефінові вуглеводні. Чутливість ароматичних вуглеводнів трохи нижче. Для парафінових вуглеводнів ця різниця дуже мала, а високомолекулярні низькооктанові парафінові вуглеводні мають негативну чутливість. Антидетонаційні властивості бензинів, одержуваних різними технологічними процесами, визначаються їх вуглеводневим складом. Найнижчу детонаційну стійкість мають бензини прямої перегонки, що складаються, в основному, з парафінових вуглеводнів нормальної будови, причому вона знижується з підвищенням температури кінця кипіння. Октанові числа, що визначаються моторним методом, відібраних фракцій, які википають до 180 °С, зазвичай складають від 40 до 50 од. Детонаційна стійкість фракцій з температурою початку кипіння 85 °С трохи вище – від 65 до 70 од. Винятком становлять прямовідгонні бензини, одержувані з нафтових основ. Їх октанові числа досягають від 71 до 73 од. Однак ресурси цих нафт вельми обмежені. Для підвищення октанових чисел прямовідгонних бензинів їх піддають каталітичного риформінгу. Октанові числа бензинів

каталітичного риформінгу залежать від жорсткості режиму процесу. При жорсткому режимі вони досягають ДОЧ=95-99 (дослідницький метод) і МОЧ=86-90 (моторний метод), при м'якому режимі відповідно від 83 до 85 і від 74 до 79. Бензини термічних процесів (крекінгу, коксування) містять до 60% олефінових вуглеводнів та по детонаційній стійкості перевершують прямогонні бензини: ДОЧ=68-75, МОЧ=62-69. Бензини каталітичного крекінгу крім олефінових вуглеводнів містять ароматичні і ізопарафінові вуглеводні. Їх детонаційна стійкість вище, ніж бензинів, одержуваних термічними процесами. Для підвищення октанових чисел товарних бензинів використовують також спеціальні антидетонаційні присадки і високооктанові компоненти. Найдешевшим і до недавнього часу найбільш поширеним способом підвищення детонаційної стійкості товарних бензинів було додавання до них алкіл свинцевих антидетонаторів, зокрема тетраетил- або тетраметил свинцю у вигляді етилової рідини. Алкіл свинцеві антидетонатори так само, як і продукти їх згоряння, високо токсичні. Окрім високої токсичності застосування етилового бензину, перешкоджало широкому використанню на автомобілях каталізаторів допалювання відпрацьованих газів, так як продукти згоряння свинцю отруюють каталізатор. В якості альтернативи алкіл свинцевими антидетонаторами для підвищення детонаційної стійкості автомобільних бензинів допущені і використовуються при виробництві вуглеводневих сумішей, органічні сполуки мангану, заліза, ароматичних амінів [5].

Для забезпечення повного згоряння палива в двигуні необхідно перевести його в короткий проміжок часу з рідкого стану в пароподібний і змішати з повітрям у певному співвідношенні – 1:14, тобто створити робочу суміш. Залежно від конструкції двигуна можливі різні способи утворення робочої суміші. До фізико-хімічних показників, від яких залежить випаровування бензинів, відносять: тиск насичених парів, фракційний склад, приховану теплоту випаровування, коефіцієнт дифузії парів, в'язкість, поверхневий натяг, теплоємність, густину. З перерахованих показників найважливішими, визначальними випаровуваності бензинів, є тиск насичених парів і фракційний склад. За в'язкості, поверхневого натягу, прихованої теплоті випаровування, коефіцієнту дифузії парів, теплоємності бензини різного складу порівняно мало різняться між собою, незначні зміни лише в конструктивних особливостях двигунів. Пускові властивості бензину залежать від вмісту в ньому легких фракцій, які можуть бути визначені по тиску насичених парів і температурі перегонки 10% або обсягу легких фракцій, що википають при температурі до 70 °С. Чим нижче температура навколишнього повітря, тим більше легких фракцій потрібно для запуску двигуна. Пускові властивості бензинів погіршуються зі зниженням тиску їх насичених парів, причому при тиску 34 кПа концентрація парів бензину в робочій зоні настільки мала, що запуск двигуна стає неможливим. Тому ГОСТ Р 51105-97 на автомобільні бензини передбачає обмеження не тільки верхнього, а й нижнього рівня тиску насичених парів. Однак надмірний вміст низькокиплячих фракцій у складі бензинів може викликати проблеми в роботі прогрітого двигуна, пов'язані з утворенням парових пробок в системі подачі палива. Причиною утворення парових пробок в автомобільному двигуні є інтенсивне випаровування палива внаслідок його перегріву [3-6]. В умовах жаркого клімату це явище може мати масовий характер. Утворення парових пробок залежить від випаровування бензину, температури і конструкції двигуна. Чим вище тиск насичених парів бензину, нижча температура початку кипіння і перегонки 10 % і більше обсяг фракції, які википають при температурі до 70 °С, тим більша його схильність до утворення парових пробок. Від фракційного складу залежать такі показники, як: швидкість прогріву двигуна, зношування циліндро-поршневої групи. Температура перегонки 50% впливає на швидкість прогріву двигуна. Температура википання 90% бензину також впливає на ці характеристики, але в меншому ступені. Швидкість прогріву двигуна залежить і від температури навколишнього повітря. Чим нижче температура повітря, тим нижче повинна бути температура перегонки 50% бензину для забезпечення швидкого прогрівання. При зниженні температури цей вплив посилюється. Тому норма на цей показник залежать також від температурних умов експлуатації і різняться за сезонами і кліматичними зонами.

Таблиця 1

Показники октанового числа та вмісту ароматичних фракцій бензину марки А-92 неочищеного та очищеного після відгонки при різних температурах

Зразок вуглеводневої суміші та спосіб очищення	Октанове число за дослідницьким методом	Октанове число за моторним методом	Вміст ароматичних фракцій, %
Неочищений, фракція бензину при $t^{\circ} < 70$	97,94	84,66	1,759
Неочищений, фракція бензину при $70 < t^{\circ} < 100$	93,07	77,65	5,688
Неочищений, фракція бензину при $100 < t^{\circ} < 150$	57,498	60,27	10,147
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $t^{\circ} < 70$	90,895	80,36	9,621
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $70 < t^{\circ} < 100$	88,17	76,42	26,979
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $100 < t^{\circ} < 150$	103,395	79,18	53,158

Для нормальної роботи двигуна велике значення має повнота випаровування палива, яка характеризується температурою перегонки 90% бензину і температурою кінця кипіння. При неповному

випаровуванні бензину у впускній системі, частина його може надходити в камеру згоряння в рідкому вигляді, змиваючи масло зі стінок циліндрів. Рідка плівка через зазори поршнів може проникати в картер, при цьому відбувається розрідження масла. Це призводить до підвищених зносу і негативно впливає на потужність і економічність роботи двигуна. Зниження температури кінця кипіння бензинів може підвищити їх експлуатаційні властивості, однак це знижує ресурс бензинів.

У дослідницькій роботі використано гранулят природного сапоніту Ташківського родовища (Славутський р-н, Хмельницької області) [12-15]. Так, як пускові характеристики моторів у автомобілях залежать від якості палива, то важливим є їх очищення від більш шкідливих компонентів [7]. Для експериментальних досліджень використано бензин неетильований А-92 (Укрнафта) [8-9]. Показники октанового числа та вмісту ароматичних фракцій бензину марки А-92 неочищеного, як контрольної проби, та і очищеної за допомогою сапонітового грануляту, після відгонки при різних температурах представлено в таблиці 1 та на рисунках 1-2.

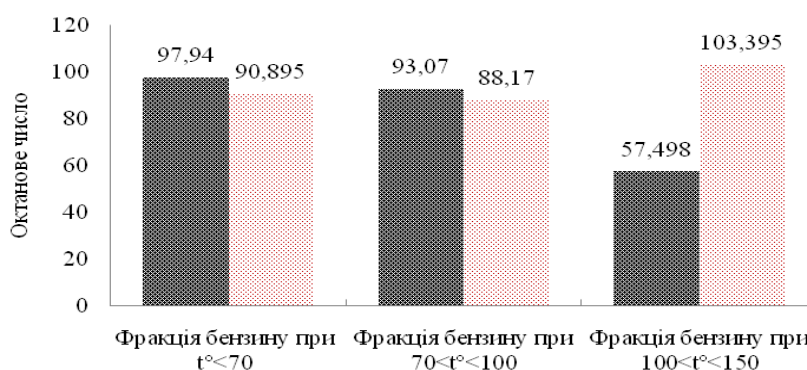


Рис. 1. Показники октанових чисел за дослідницьким методом бензину А-92 неочищеного та очищеного сапонітовим гранулятом після відгонки при різних температурах

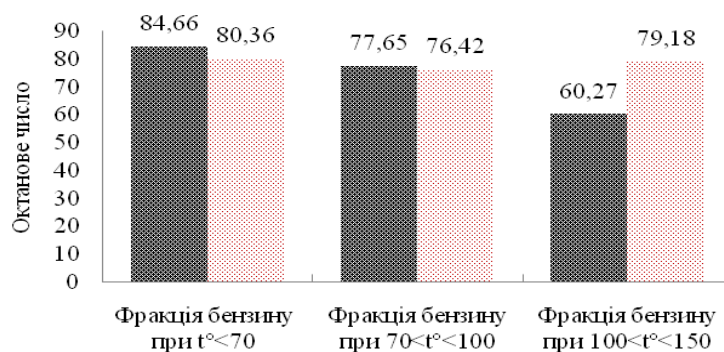


Рис. 2. Показники октанових чисел за моторним методом бензину А-92 неочищеного та з використанням сапонітового грануляту після відгонки при різних температурах

При збільшенні температури відгонки вуглеводневих сумішей, очищених за допомогою сапонітового грануляту, від 70 до 150° С вміст ароматичних фракцій збільшується від 9,621 до 53,158. При цьому октанове число зростає від 91 до 103.

На рисунках 3-8 наведено детальний вуглеводневий склад (у %) зразків вуглеводневих сумішей, досліджених хроматографічно.

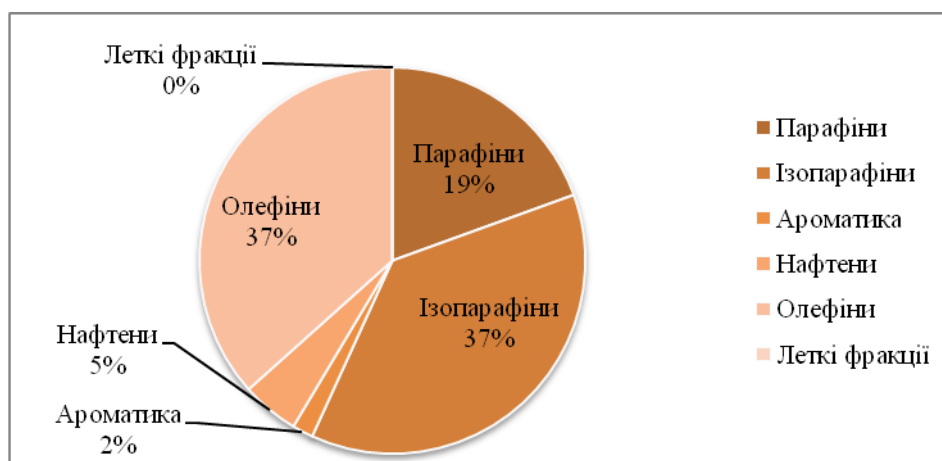


Рис. 3. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, неочищеного (фракція бензину при t° < 70)

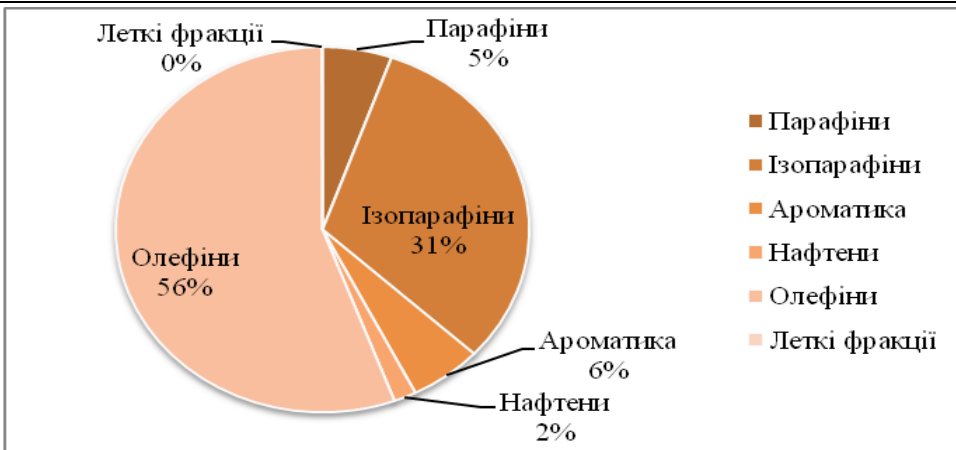


Рис.4. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, неочищеного (фракція бензину при $70 < t^{\circ} < 100$)

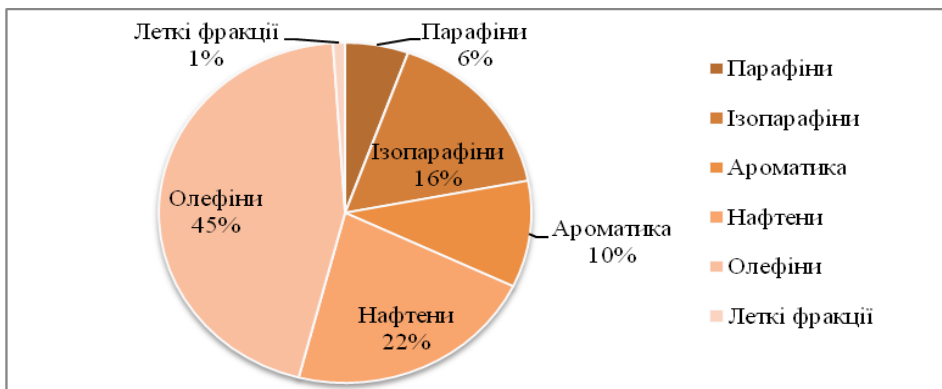


Рис.5. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, неочищеного (фракція бензину при $100 < t^{\circ} < 150$)

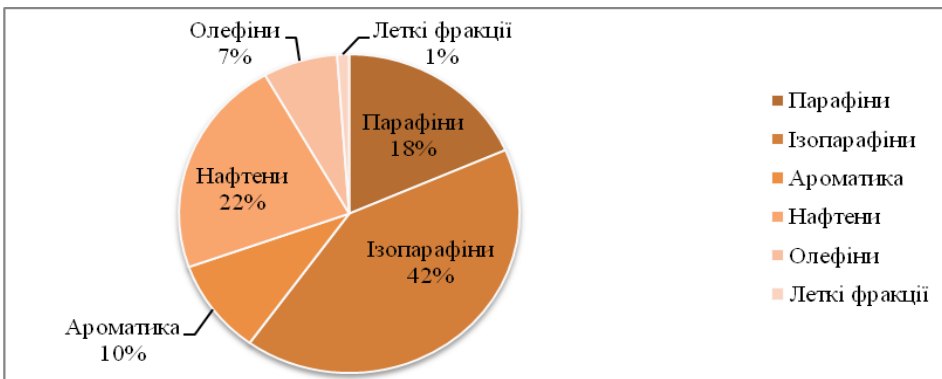


Рис.6. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного сапонітовим гранулятом (фракція бензину при $t^{\circ} < 70$)

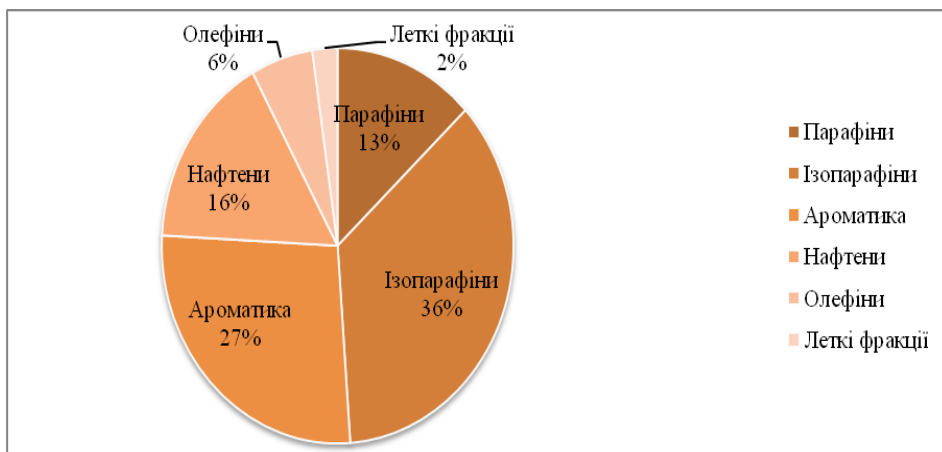


Рис.7. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного сапонітовим гранулятом (фракція бензину при $70 < t^{\circ} < 100$)

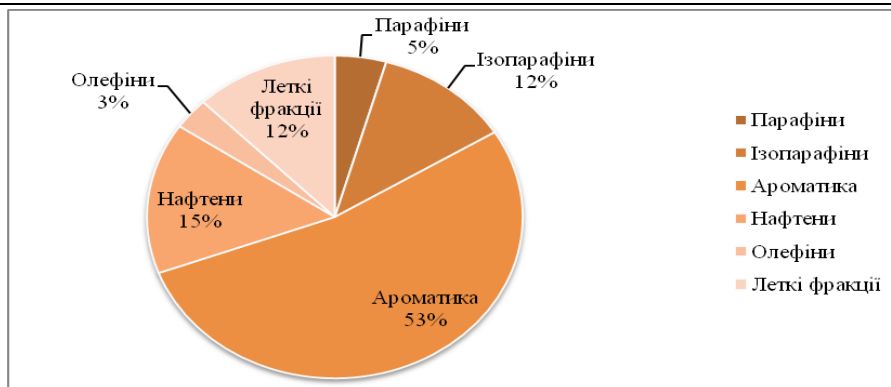


Рис.8. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного сапонітовим гранулятом (фракція бензину при $100 < t < 150$)

Важливими показниками є середнє значення молекулярної маси та відносної густини досліджуваних нафтопродуктів (таблиця 2).

Таблиця 2

Середні показники молекулярної маси та відносної густини бензину марки А-92 неочищеного та очищеного сапонітовим гранулятом після відгонки при різних температурах відгонки

Зразок вуглеводневої суміші та спосіб очищення	Молекулярна маса, г/моль	Відносна густина
Неочищений, фракція бензину при $t < 70$	79,309	0,650
Неочищений, фракція бензину при $70 < t < 100$	89,059	0,692
Неочищений, фракція бензину при $100 < t < 150$	111,187	0,745
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $t < 70$	84,211	0,694
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $70 < t < 100$	94,878	0,735
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $100 < t < 150$	113,681	0,828

При збільшенні температури відгонки вуглеводневих сумішей, очищених за допомогою сапонітового грануляту, від 70 до 150°C молекулярна маса збільшується від 84,211 до 113,681, а показники відносної густини знаходяться в межах від 0,694 до 0,828.

Результати визначення фракційного складу (залежність відсотку перегонки від температури) представлено на рисунках 9–14.

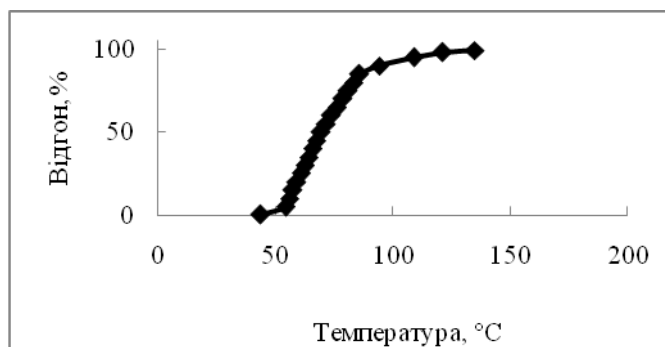


Рис.9. Залежність перегонки (у %) від температури у неочищеному бензині при $t < 70$

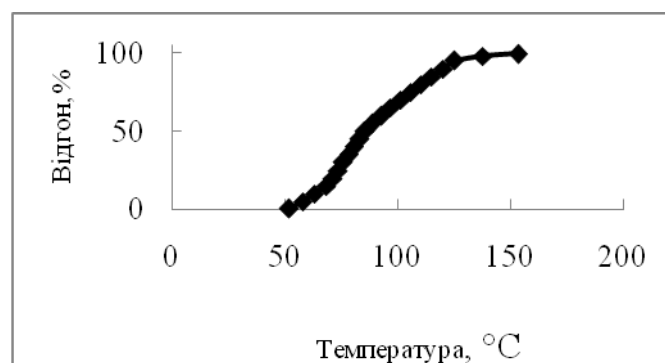
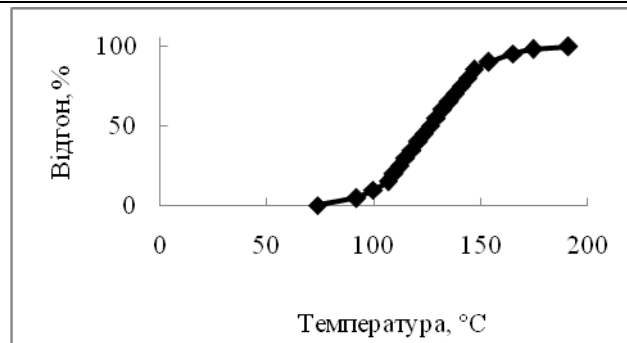
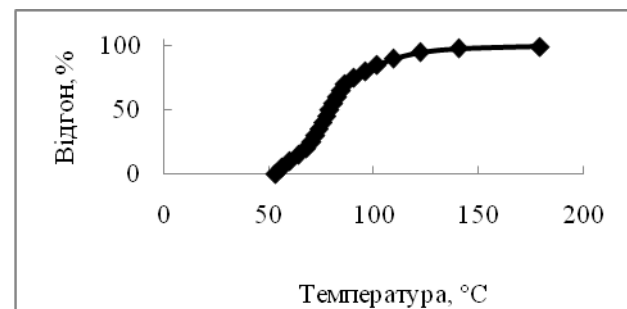
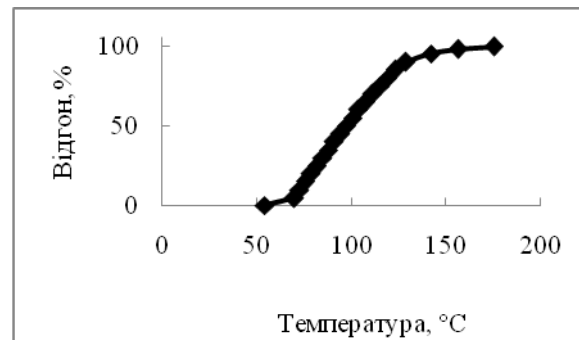
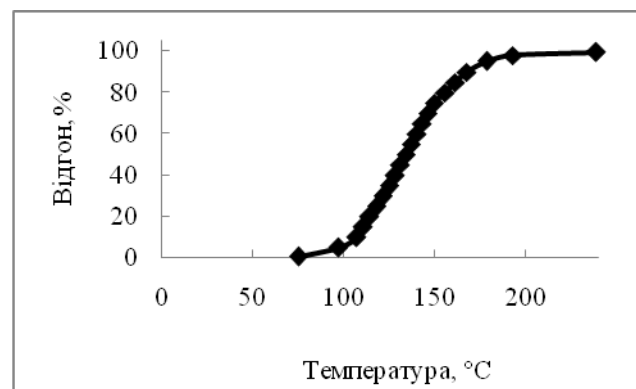


Рис.10. Залежність перегонки (у %) від температури у неочищеному бензині при $70 < t < 100$

Рис.11. Залежність перегонки (у %) від температури у неочищеному бензині при $100 < t^{\circ} < 150$ Рис.12. Залежність перегонки (у %) від температури у бензині, очищеному за допомогою сапунітового грануляту при $t^{\circ} < 70$ Рис. 13. Залежність перегонки (у %) від температури у бензині, очищеному за допомогою сапунітового грануляту при $70 < t^{\circ} < 100$ Рис.14. Залежність перегонки (у %) від температури у бензині, очищеному за допомогою сапунітового грануляту при $100 < t^{\circ} < 150$

Тиск насичених парів і фракційний склад є функціями складу бензину, і ці показники можуть істотно відрізнятися для різних бензинів. Ці два параметри визначають пускові властивості бензинів, їх схильність до утворення парових пробок, фізичну стабільність. Тиск насичених парів залежить від температури і від співвідношення парової і рідкої фаз, що зменшується зі зменшенням температури і збільшенням відносно парової фази до рідкої. Вимоги до фракційного складу і тиску насичених парів бензинів визначаються конструкцією автомобільного двигуна і кліматичними умовами його експлуатації. З одного боку, необхідно забезпечити запуск двигуна при низьких температурах, з іншого боку - запобігти порушенням у роботі двигуна, пов'язаним з утворенням парових пробок при високих температурах. Досліджувані зразки вуглеводневих сумішей хроматографували і за допомогою програми «GAZOLIN» обробляли результати, які подані у таблиці 3.

Результати визначення тиску насиченої пари у досліджуваних зразках вуглеводневих сумішей

Зразок вуглеводневої суміші та спосіб очищення	Тиск насиченої пари, кПа
Неочищений, фракція бензину при $t^{\circ} < 70$	116,751
Неочищений, фракція бензину при $70 < t^{\circ} < 100$	60,767
Неочищений, фракція бензину при $100 < t^{\circ} < 150$	8,893
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $t^{\circ} < 70$	64,499
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $70 < t^{\circ} < 100$	29,899
Очищений сапонітовим гранулятом, фракція бензину при $100 < t^{\circ} < 150$	4,973

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

При збільшенні температури відгонки вуглеводневих сумішей, очищених за допомогою сапонітового грануляту, від 70 до 150° С констатовано зменшення тиску насичених парів від 64,499 до 4,973.

Таким чином, для нормальної роботи двигуна велике значення має повнота випаровування палива, яка характеризується температурою перегонки 90% бензину і температурою кінця кипіння. При неповному випаровуванні бензину у впускній системі, частина його може надходити в камеру згоряння в рідкому вигляді, змиваючи масло зі стінок циліндрів. Рідка плівка через зазори поршнів може проникати в картер, при цьому відбувається розрідження масла. Це призводить до підвищених зносу і негативно впливає на потужність і економічність роботи двигуна. Зниження температури кінця кипіння бензинів може підвищити їх експлуатаційні властивості, однак це знижує ресурс бензинів.

Література

1. Гуреев А. А. Автомобильные бензины. Свойства и применение / А. А. Гуреев, В. С. Азев. – М.: Нефть и газ, 1996. – 444 с.
2. Сафонов А. С. Автомобильные топлива : Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, И. В. Чечкенов. – СПб. : Издательство «НППИКЦ», 2002. – 264 с.
3. Данилов А. М. Разработка и производство экологически улучшенных моторных топлив / А. М. Данилов, В. Е. Емельянов, Т. Н. Митусова. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1994. – 53 с.
4. Перспективные автомобильные топлива : Пер. с англ. / Под ред. Я. Б. Чертова. – М. : Транспорт, 1982. – 319 с.
5. Данилов А. М. Присадки и добавки : улучшение экол. характеристик нефт. топлив / А. М. Данилов. – Москва : Химия, 1996. – 231 с.
6. Что такое фильтр и какие они бывают? – Режим доступа: <https://auto.today/bok/3179-chto-takoe-filtr-i-kakie-oni-byvayut.html> (Дата звернення: 07.05.2019).
7. Фільтр грубої очистки палива – Режим доступа: <https://auto.today/bok/3174-filtr-gruboy-ochistki-topliva-dlya-chego-on-nuzhen.html#h-id-2> (Дата звернення: 19.05.2019).
8. Рябцев Г. Л. Основні підходи до формування в Україні запасів нафти і нафтопродуктів відповідно до вимог Європейського енергетичного співтовариства / Г. Л. Рябцев // Вісник Національної академії державного управління при Президенті України. – 2015. – № 1. – С. 107-112.
9. Колпашников А. И. Гранулированные материалы / А. И. Колпашников, А. В. Ефремов. – Москва : Металлургия, 1977. – 239 с.
10. Классен П. В. Основы техники гранулирования / П. В. Классен, И. Г. Гришаев. – М. : Химия, 1982. – 272 с.
11. Вилесов Н. Г. Процессы гранулирования в промышленности / Н. Г. Вилесов, В. Я. Скрипко, В. Л. Ломазов, И. М. Танченко. – К. : Техника, 1976. – 192 с.
12. Structural, Mineral and elemental composition features of iron-rich saponite clay from Tashkiv deposit (Ukraine) / Н. Sokol, М. Sprynskyy, А. Ganzuk та ін. // Colloids and Interfaces. – 2019. – №3. – Р. 10.
13. Сокол Г. М. Отримання гідрофобних органіномінеральних сорбційних матеріалів на основі сапоніту / Г. М. Сокол, А. Я. Ганзюк // Наукові нотатки. – 2017. – Вип. 58. – С. 288-294.
14. Сокол Г. М. Структурна модифікація сапонітових глин кислотною обробкою / Г. М. Сокол // Наукові нотатки. – 2017. – Вип. 56. – С. 149-153.
15. Ганзюк А. Модифікація сапонітових глин поверхнево-активними речовинами / А. Ганзюк, С. Карван, Г. Дейчук, Х. Ганзюк // Вісник Львівського університету. Серія хімічна. – 2015. – Вип. 56(1). – С. 186-191.

Referense

1. Hureev A. A. Avtomobylnye benzyny. Svoistva y prymeneniye / A. A. Hureev, V. S. Azev. – М.: Neft y haz, 1996. – 444 s.
2. Safonov A. S. Avtomobylnye topliva : Khymmotolohiya. Ekspluatatsyonnye svoistva. Assortyment / A. S. Safonov, A. Y. Ushakov, Y. V. Chechkenev. – SPb. : Yzdatelstvo «NPYKTs», 2002. – 264 s.
3. Danylov A. M. Razrabotka y proyzvodstvo ekologicheskyy uluchshennykh motornykh topliv / A. M. Danylov, V. E. Emelianov, T. N. Mytusova. – М. : TsNYUTneftekhym, 1994. – 53 s.
4. Perspektivnyye avtomobylnye topliva : Per. s anhl. / Pod red. Ya. B. Chertkova. – М. : Transport, 1982. – 319s

5. Danylov A. M. Prysadky y dobavky : uluchshenye ekol. kharakterystyk nefi. toplyv / A. M. Danylov. – Moskva : Khymyia, 1996. – 231 s.
6. Chto takoe fyltr y kakye ony byvaiut? – Rezhym dostupu: <https://auto.today/bok/3179-chto-takoe-filtr-i-kakie-oni-byvayut.html> (Data zvernennia: 07.05.2019).
7. Filtr hruboi ochystky palyva – Rezhym dostupu: <https://auto.today/bok/3174-filtr-gruboy-ochistki-topлива-dlya-chego-on-nuzhen.html#h-id-2> (Data zvernennia: 19.05.2019).
8. Riabtsev H. L. Osnovni pidkhody do formuvannia v Ukraini zapasiv nafty i naftoproduktiv vidpovidno do vymoh Yevropeiskoho enerhetychnoho spivtovarystva / H. L. Riabtsev // Visnyk Natsionalnoi akademii derzhavnoho upravlinnia pry Prezydentovi Ukrainy. – 2015. – № 1. – S. 107-112.
9. Kolpashnykov A. Y. Hgranulyrovannyye materyaly / A. Y. Kolpashnykov, A. V. Efremov. – Moskva : Metallurhiya, 1977. – 239 s.
10. Klassen P. V. Osnovy tekhniky hgranulyrovaniya / P. V. Klassen, Y. H. Hryshaev. – M. : Khymyia, 1982. — 272 s.
11. Vylesov N. H. Protsestry hgranulyrovaniya v promyshlennosti / N.H. Vylesov, V. Ya. Skrypko, V. L. Lomazov, Y.M. Tanchenko. – K. : Tekhnyka, 1976. – 192 s.
12. Structural, Mineral and elemental composition features of iron-rich saponite clay from Tashkiv deposit (Ukraine) / H. Sokol, M. Sprynskyy, A. Ganzuk ta in. // Colloids and Interfaces. – 2019. – №3. – R. 10.
13. Sokol H. M. Otrymannia hidrofobnykh orhanomineralnykh sorbtsiinykh materialiv na osnovi saponitu / H. M. Sokol, A. Ya. Hanzuk // Naukovi notatky. – 2017. – Vyp. 58. – S. 288-294.
14. Sokol H. M. Strukturna modyfikatsiia saponitovykh hlyn kyslotnoiu obrobkoiu / H. M. Sokol // Naukovi notatky. – 2017. – Vyp. 56. – S. 149-153.
15. Hanzuk A. Modyfikatsiia saponitovykh hlyn poverkhnevo-aktyvnymy rehovynamy / A. Hanzuk, S. Karvan, H. Deichuk, Kh. Hanzuk // Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii khimichna. – 2015. – Vyp. 56(1). – S. 186-191.

Рецензія/Peer review : 10.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

ЄФІМОВА В. Г.

ORCID ID:0000-0003-2372-8398

e-mail: yefimovavg@gmail.com

ПИЛИПЕНКО Т. М.

ORCID ID:0000-0003-1454-2882

СІРЕНЬКА О. О.

ORCID ID:0000-0002-2899-1534

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

РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙНОГО КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ З ЕКСТРАКТОМ МОРСЬКОГО КОЛАГЕНУ

В статті проведено розробку емульсійного косметичного продукту по догляду за обличчям з використанням екстракту морського колагену. Розрахунок гідрофільно-ліпофільного балансу дозволив знайти оптимальне співвідношення масла з емульгатором та соемульгатором натурального походження. Косметичний продукт було виготовлено за стандартною методикою, а також проведено дослідження основних фізико-хімічних показників готового продукту.

Ключові слова: екстракт морського колагену, емульгатор, колоїдна стабільність, термостабільність, емульсія, косметичний продукт.

V. YEFIMOVA, T. PILIPENKO, O. SIRENKA

National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Polytechnic Institute

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF EMULSION COSMETIC CREAM WITH MARINE COLLAGEN EXTRACT

Abstract. The work is devoted to the development of an emulsion cosmetic product using marine collagen extract. Fish and fish products are an important component in the diet, and for the population of a number of countries - the main food. Marine collagen extract is a functional biopolymer collagen - a protein that, due to its unique physical and chemical properties, has found application in the production of cosmetics. The marine environment represents an underexploited resource for the discovery of novel products, despite its high level of biological and chemical diversity. With increasing awareness of the harmful effects of chronic ultraviolet exposure, and a universal desire to improve cosmetic appearance, the market for new cosmetic ingredients is growing, and current trends have generated a greater demand for products sourced from the environment. A growing number of novel molecules from marine flora and fauna exhibit potent and effective dermatological activities. To date, not a single cosmetic company in Ukraine produces emulsion cosmetic products with marine collagen extract.

The skin is constantly in contact with the environment and is subjected to various types of interactions: thermal, mechanical, physical, chemical, etc. Some of these influences adversely affect it. As a result, damage to the skin often occurs, accompanied by a violation of the structure and integrity of the skin. Collagen takes part in the rejuvenation of skin cells, and is also responsible for water balance and absorption of nutrients.

This paper presents the development of the formulation of an emulsion cosmetic skin care product, as well as the study of the physicochemical parameters of a new product. The calculation of the hydrophilic-lipophilic balance made it possible to optimally select the ratio of the oil phase, emulsifier and co-emulsifier. The emulsion cosmetic product was prepared using the hot-hot process method. Thermal stability, colloidal stability and pH were studied as physical and chemical indicators.

The research results made it possible to develop a formulation for a cosmetic emulsion cream using marine collagen extract.

Keywords: marine collagen extract, emulsifier, colloidal stability, thermal stability, emulsion, cosmetic product.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В останні роки в засобах масової інформації часто йдеться про колаген як про модний засіб, що повертає молодість шкірі, надає блиск і міцність волоссю, здоров'я кісткам та суглобам. Головною властивістю, що зумовлює застосування сировини, яка містить колаген в косметології, є його здатність стимулювати вироблення власного колагену і відновлювати колагеновий каркас шкіри (безопераційний ліфтинг), не маскуючи цим проблеми, а усуваючи їх причину. Саме тому фахівці в галузі естетичної медицини визнають колаген лікувальним: за своєю ефективністю його можна порівняти з ін'єкціями професійних косметологів і для розгладження зморшок не потрібен скальпель. [1] Колаген та його гідролізати часто входять до рецептур різноманітних кремів, шампунів, бальзамів, кондиціонерів, еліксирів, масок, у тому числі тканинних, колагенових листів та ін. як вологоутримуючі та поживні компоненти. Ефективність цих косметичних засобів пояснюється тим, що колаген утворює плівку, яка діє як вологий компрес та призводить до зниження трансепідермальної втрати води шкірою. Гігроскопічні властивості колагену підвищують вологість рогового шару шкіри, що дозволяє вважати косметичні засоби з колагеном геронтопротектором.

Походження колагену може бути різним від побічних продуктів великої рогатої худоби та свинини до морських джерел. Зв'язаний бичачий і свинячий колаген представляє ризик захворювань, що передаються худобою таких як губчаста енцефалопатія та ящур. Навпаки, морський колаген являє собою важливу відмінність від інших тваринних джерел цього білка [2].

Отже розробка рецептури емульсійного косметичного продукту з екстрактом морського колагену, а також визначення його фізико-хімічних характеристик є актуальною задачею.

Постановка завдання

Багато емульсійних косметичних продуктів мають у своєму складі морський колаген, як основний компонент, що являє собою природний зволожувач. В цьому напрямку постійно відбуваються інноваційні розробки ефективних косметичних продуктів, що містять його у своєму складі. Тому метою нашої наукової роботи було:

- 1) розробка рецептури емульсійного косметичного засобу;
- 2) вивчення фізико-хімічних характеристик косметичного продукту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У науковій літературі є багато робіт, що розглядають застосування колагену у косметичній продукції. Однак, хоча колаген широко використовується в косметиці, результати не завжди публікуються, оскільки деякі дослідження можуть проводитися косметичними компаніями, які зазвичай не публікують нові досягнення в наукових роботах. Дуже часто результати, отримані в косметичних компаніях, патентуються або просто використовуються для вдосконалення косметичних продуктів.

Так роботах [3, 4], що стосуються галузі біомедицини вивчався екстракт морського колагену у якості косметичного компоненту. В цих роботах показано, що білки морського колагену не можуть поглинатися роговим шаром шкіри, оскільки мають велику молекулярну масу, але знаходяться на поверхні шкіри, вони поглинають воду з повітря, що надає шкірі додаткове зволоження. В роботах [1, 4] було наведено дані впливу колагену, що знаходився у складі косметичного засобу, на відновлення шкіри обличчя.

При цьому слід звернути увагу на те, що в жодній роботі, які наведені у відкритому доступі відсутні дані про розробку рецептури, а також вивчення фізико-хімічних властивостей емульсійних косметичних продуктів, що містять екстракт морського колагену.

Мета і завдання дослідження

Розробка рецептури емульсійного косметичного засобу з екстрактом морського колагену, що стабілізований сумішшю поверхнево активних речовин натурального походження природи, а також дослідження його фізико-хімічних та органолептичних властивостей.

Виклад основного матеріалу

Креми для обличчя, що омолоджують на основі колагену користуються все більшою популярністю завдяки своїй високій ефективності та відносно доступній вартості відповідно до безпеки з аналогічним принципом дії засобів, які омолоджують.

В основі таких кремів лежить колаген, який представляє собою білок з омоложувальними пептидами, що зволожує шкіру, сприяє підтяжці покриву шкіри та утримує велику частину видимих вікових змін шкіри.

Переваги кремів для обличчя, що містять у своєму складі колаген:

- ефективне і глибоке зволоження;
- закріплення процесів старіння епідермісу та дерми на клітковому рівні;
- наявність яскраво вираженого ліфтинг ефекту;
- істотне підвищення еластичності, пружності і щільності верхнього шару шкіри;
- повне або значне усунення вікової пігментації;
- розгладжування мімічних та вікових зморшок.

Під час розробки рецептури емульсійного косметичного продукту наш вибір ми зупинили на природному розчинному колагені Maricol виробництва Німеччини, що виготовляється зі шкіри тунця.

Морський колаген має властивості живої тканини та зберігає їх довгий час в незалежності від температурного впливу. При цьому структура та склад молекули не відрізняються від натурального колагену, що виробляється організмом. Завдяки цьому морський колаген здатний стимулювати та прискорювати природний білковий синтез сполучних тканин та клітин шкіри. Особливістю колагену зі шкіри риб також у тому, що він може розпадатись на окремі складові – ланцюжки амінокислот, долати бар'єр шкіри та знову збиратися у довгі спіралеподібні молекули, починаючи роботу зсередини.

Але насправді молекула колагену дуже велика і не здатна проникнути в глибокі шари шкіри, а також вбудуватися в природну колагенову сітку. Тому косметичний колаген плівкою лежатиме на поверхні, але все одно працюватиме. Молекула колагену здатна всмоктати воду до 30 разів більше власного об'єму, що позитивно відображається на підтримці водно-ліпідного балансу.

Завдяки створенню на шкірі захисного вологоутримуючого шару, колаген погладжує шкіру обличчя надає їй м'якість і пружність, прискорює регенерацію клітин. Використовуючи догляд на основі колагену, можна прискорити обмінні процеси в глибоких шарах шкіри, що в свою чергу сприятиме омолодженню та ефекту ліфтингу.

В якості стабілізаторів емульсійного косметичного продукту нами було обрано емульгатор Plantasens HE 20 та емульгатор Olivoil Emulsifier.

Plantasens® HP-30. INCI: Glyceryl Stearate, Cetearyl Alcohol, Sodium Stearoyl Lactylate . Зовнішній вигляд – гранули, ГЛБ - 9, тип - неіоногенний, дозування: 3-6%, розчинний в оліях, тому вводиться у фазу

масла на початковому етапі. Він являє собою оптимізовану суміш емульгаторів з високою спорідненістю з амінокислотними структурами шкіри, за рахунок чого залишається на шкірі та забезпечує відчуття гладкості та шовковистості. Ідеальний для підтримки шкіри у бездоганному, здоровому та добре збалансованому стані. Має сильну емульгуючу здатність, що підвищує стабільність продукції та універсальність у використанні.

Емульгатор Olivoil Emulsifier. INCI: Aqua, cetearyl alcohol, glyceryl stearate, sodium olivoyl glutamate. Зовнішній вигляд - віскоодібна маса, ГЛБ – 5, тип – неіоногенний, дозування для крему 5-8%, вводиться у фазу масла.

Являє собою ліпопротеїновий емульгатор, отриманий внаслідок синтезу жирних кислот оливкової олії та гідролізованих пшеничних протеїнів. Це повністю натуральний емульгатор, що допомагає створювати стабільні кремові основи. Він не порушує гідроліпідного балансу шкіри, навпаки є також емоментом: добре розгладжує, пом'якшує та надає шовковистості шкірі. Не дає ефекту липкості, швидко вбирається.

У якості масляної складової рецептури нашого косметичного засобу нами було обрано норкову олію (ГЛБ 5), масло ши (ГЛБ 8) та бджолиний віск (ГЛБ 12).

Першим етапом розробки рецептури емульсійного косметичного засобу було визначення співвідношення олій та емульгаторів.

Для утворення прямої емульсії необхідно, щоб ГЛБ емульгаторів знаходилось у межах 8-10. Значення ГЛБ суміші двох чи більше емульгаторів з заданим значенням ГЛБ можна легко визначити за наступним рівнянням:

$$ГЛБ_{(суміші)} = ГЛБ_1 x_1 + ГЛБ_2 x_2 + ГЛБ_i x_i, \quad (1)$$

де $ГЛБ_1, ГЛБ_2, ГЛБ_i$ - ГЛБ 1, 2 та i-го емульгаторів; x_1, x_2, x_i - мольна доля 1,2, та i-го емульгаторів відповідно.

Скориставшись рівнянням (1) нами було визначено, що ГЛБ суміші емульгаторів становить:

$$ГЛБ_{(суміші)} = 9 \cdot 0,6 + 5 \cdot 0,54 = 9.$$

Для кожного компонента масляної фази, що емульгується існує оптимальне значення ГЛБ емульгатора (суміші емульгаторів) – це відповідне ГЛБ.

$$ГЛБ_{масла} = ГЛБ_{емульгатора} \quad (2)$$

ГЛБ будь – якої суміші масел можна визначити за формулою:

$$ГЛБ_{(масла)} = ГЛБ_1 \cdot w_1 + ГЛБ_2 \cdot w_2 + \dots + ГЛБ_n \cdot w_n, \quad (3)$$

де $ГЛБ_1, ГЛБ_n$ – значення ГЛБ відповідного масла, w_1 та w_n - масова частка масла у фазі масла, доля 1. Розрахунки, проведені з використанням рівняння (3) показали, що масова частка норкової олії становить 2%, бджолиного воску – 2% та масла ши – 7%.

Рецептура емульсійного косметичного продукту наведена у Таблиці 1.

Таблиця 1.

Компонентний склад емульсійного косметичного продукту з екстрактом морського колагену

Назва компонента	% у рецепті
Жирова фаза	
Емульгатор Plantasens HE 20 (ГЛБ 5)	4-8
Емульгатор Olivoil Emulsifier (ГЛБ 9)	5-9
Масло Норкове (ГЛБ 5)	2-8
Бджолиний віск (ГЛБ 12)	2-7
Масло Ши (ГЛБ 8)	7-15
Водна фаза	
Вода	47-80
Перлинна пудра	5-7
Емомент Cetiol RFL	2-10
Активна фаза	
Екстракт морського колагену	1-6
Консервант EUXYL PE 9010	1-3
УФ-фільтр ZINC OXIDE	6-10
Всього:	100

Для приготування емульсійного косметичного засобу ми зважили необхідні кількості інгредієнтів для отримання емульсійного крему масою 100 г.

Далі у склянку ми помістили компоненти масляної фази і емульгатори і розплавляли на водяній бані при температурі 75-80°C. Окремо у склянці змішують компоненти водної фази та підігрівають до такої самої температури.

Потім до масляної фази при безперервному перемішуванні (800 -1200 хв⁻¹) повільно додавали водну фазу. Змішування фаз і диспергування емульсії здійснювали на водяній бані протягом 5 хв. Далі емульсію охолоджували до 35-40 °С (перемішування при швидкості обертання мішалки 200-400 хв⁻¹), вводили термолабільні компоненти та здійснювали додаткову обробку в диспергаторі протягом 20-30 с. Потім крем охолоджували до температури 30-35°C та аналізували.

Отриманий крем аналізували за органолептичними показниками (зовнішній вигляд, колір, консистенція, поглинання - кількість кругових рухів, що втирають, до повного вбирання продукту в шкіру), визначали тип отриманого крему (пряма або зворотна емульсія), колоїдну стабільність (стійкість до центрифугування 6000 хв⁻¹) та термостабільність.

Результати досліджень наведені у Таблиці 2.

Таблиця 2.

Фізико-хімічні показники емульсійного косметичного продукту

Назва показника	Характеристики
Зовнішній вигляд	Однорідна маса без сторонніх домішок
Водневий показник (рН)	7,0
Колоїдна стабільність	стабільний
Термостабільність	стабільний
Тип емульсії	пряма

Отже, дані, що наведені у таблиці 2 свідчать про те, що розроблений емульсійний косметичний продукт відповідає всім вимогам, що висуваються до косметичних кремів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведеної роботи було розроблено рецептуру емульсійного косметичного продукту з використанням екстрактом морського колагену. Проведені фізико-хімічні дослідження емульсійного продукту показали, що він відповідає всім вимогам, які висуваються до емульсійних косметичних кремів. Дані досліджень свідчать, що використання екстракту морського колагену у складі косметичного засобу не впливає на його фізико-хімічні показники.

Література

1. Salvatore L., Gallo N., Lucia N., Campa L. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare/ L.Salvatore, N.Gallo, N.Lucia, L.Campa// Materials Science and Engineering: C. – 2020. Vol. 113. – p. 56-79.
2. Malkanthi E., Erin D., Zakaria N., Pelipyagina T. A randomized, triple-blind, placebo-controlled, parallel study to evaluate the efficacy of a freshwater marine collagen on skin wrinkles and elasticity/ E. Malkanthi, D.Erin, N. Zakaria, T.Pelipyagina//Journal of cosmetic dermatology. – 2020. – Vol.8. – p.79-101.
3. Alves A., Marques A., Martins E. Cosmetic Potential of Marine Fish Skin Collagen/ A.Alves, A.Marques, E. Martins//Cosmetics. – 2017. – Vol.9. p. 2-16.
4. Panagiotis B. Marine Collagen: Extraction and Applications/B. Panagiotis// Research Trends in Biochemistry, Molecular Biology and Microbiology. – 2015. – Vol5. P- 45-59.

References

1. Salvatore L., Gallo N., Lucia N., Campa L. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare. Materials Science and Engineering: C. 2020. Vol. 113. p. 56-79.
2. Malkanthi E., Erin D., Zakaria N., Pelipyagina T. A randomized, triple-blind, placebo-controlled, parallel study to evaluate the efficacy of a freshwater marine collagen on skin wrinkles and elasticity. Journal of cosmetic dermatology. 2020. Vol.8. p.79-101.
3. Alves A., Marques A., Martins E. Cosmetic Potential of Marine Fish Skin Collagen. Cosmetics. 2017. – Vol.9. p. 2-16.
4. Panagiotis B. Marine Collagen: Extraction and Applications. Research Trends in Biochemistry, Molecular Biology and Microbiology. – 2015. – Vol5. P- 45-59.

Рецензія/Peer review : 15.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

ЗАСОРНОВА І. О.

ORCID ID: 0000-0001-6655-5023

e-mail: izasornova@gmail.com

Хмельницький національний університет

ОЧКУРЕНКО В. І.

ORCID ID: 0000-0002-4133-5769

e-mail: textiles.snu@gmail.com

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ЗАСОРНОВ О. С.

ORCID ID: 0000-0002-9387-6997

e-mail: azasornov@gmail.com

Хмельницький національний університет

ТЕЛУШКІНА О. А.

ORCID ID: 0000-0002-3374-0852

e-mail: telushkina@snu.edu.ua

САРАНА О. М.

ORCID ID: 0000-0003-1898-8283

e-mail: sarana@snu.edu.ua

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ НАЦІОНАЛЬНИХ СОРОЧОК ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ СУЧАСНИХ ЖІНОЧИХ СУКОНЬ, ВИКОНАНИХ В ЕТНО-СТИЛІ

В роботі проведено наукові дослідження різних видів українських національних жіночих сорочок бойківського регіону кінця XIX початку XX століття щодо конструктивно-технологічних рішень.

Авторами розроблено класифікатор конструктивних елементів українських національних сорочок Бойківщини. На основі розробленого класифікатора сформовано масив конструктивних елементів українських національних сорочок Бойківщини.

Представлено результати досліджень щодо визначення кольорової гами матеріалів, які використовувались для виготовлення національних сорочок Бойківщини. Визначено, що найбільш зустрічними кольорами були: блакитний, бежевий, білий і бордовий.

Визначено RGB-параметри відтінків кольорів матеріалів, які запропоновано використовувати при проектуванні сучасних жіночих суконь, виконаних в етно-стилі.

За результатами проведених досліджень, розроблено ескізи трьох моделей жіночих суконь. Модель А сучасної жіночої сукні, виконаної в етно-стилі, відшита в промислових умовах.

Ключові слова: національна сорочка, класифікатор, жіноча сукня, вишивка, конструктивно-технологічні рішення, колір, частота зустрічності, RGB-параметри.

IRYNA ZASORNOVA

Khmelnytskyi National University, Ukraine

VICTOR OCHKURENKO

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

ALEXANDER ZASORNOV

Khmelnytskyi National University, Ukraine

OLHA TIELUSHKINA, OLEKSANDR SARANA

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

RESEARCH OF CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF NATIONAL SHIRTS FOR DECORATION OF MODERN WOMEN'S DRESSES OF ETHNO-STYLE

The research of different types of Ukrainian national women's shirts of the Boykiv region at the end of the XIX and the beginning of the XX century about constructive-technological decisions and used colours of materials is carried out in the work.

The main types of cut of national shirts of Boykivshchyna have been studied: shirt with shoulder inserts, tunic-like shirt, shirt with one-piece sleeves, shirt with coquette.

The authors have developed a classifier of structural elements of the Ukrainian national shirts of Boykivshchyna. Based on the developed classifier, a massive of structural elements of Ukrainian national shirts of Boykivshchyna was formed, which contains information on types of shirt cuts, their silhouettes, length of shirts, types of sleeves by shape and length, types of collars and neck shapes.

The proposed massive can be expanded and supplemented, provided that further research will reveal some more structural elements of traditional shirts. Using the structural elements of the massive, it is possible to create new models of modern women's dresses, introducing them into mass production. Combining design elements, it is possible to create different versions of models of women's dresses for implementation in multimodal flows.

The results of research on determining the colour scheme of materials used for the manufacture of national shirts of Boykivshchyna are presented. It was determined that the most common colours were: blue, beige, white and burgundy. Colours such as red, black, brown, blue, and green were less common.

RGB-parameters of shades of colours of materials which are offered to use at designing of the modern women's dresses made in ethno-style are defined.

According to the results of the research, sketches of three models of women's dresses were developed. Model A of a modern women's dress, made in ethno style, sewn in industrial conditions.

Keywords: national shirt, classifier, women's dress, embroidery, design and technological solutions, colour, frequency, RGB parameters.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Швейні підприємства, на яких спостерігаються стійкі темпи розвитку і стабільний попит, зазвичай здійснюють пошук шляхів покращення техніко-економічних показників на підставі впровадження різних інновацій. Питання вдосконалення процесів виробництва стосуються більшості українських швейних підприємств, тому важливо визначити можливі напрямки інноваційних реформ для того, щоб в результаті отримувати високоякісні конкурентоспроможні вироби [1,2]. Найважливішими напрямками вдосконалення процесів швейного виробництва є впровадження сучасного спеціалізованого обладнання, прогресивної технології обробки та проектування конкурентоспроможних швейних виробів, обґрунтований вибір яких базується на наукових дослідженнях.

Одним із шляхів підвищення конкурентоспроможності швейних виробів є постійна зміна їх асортименту, використання таких видів оздоблення, які ґрунтуються на історичних аспектах створення одягу. В зв'язку з цим виникає потреба у виконанні наступних взаємопов'язаних задач:

- виконати аналітичний огляд українських національних сорочок;
- дослідити конструктивні елементи українських національних сорочок;
- визначити колір матеріалів для виготовлення українських національних сорочок;
- розробити ескізи моделей сучасних жіночих суконь, виконаних в етно-стилі для впровадження у виробництво.

Аналіз досліджень та публікацій

На сьогодні науковцями проведено ряд досліджень щодо розробки експертних систем для підтримки процесу дизайну одягу, становлення системи моди ХХ - ХХІ ст., сучасних напрямків етно-дизайну в індустрії моди, вивчення крою української національної сорочки, вибору кольорів матеріалів і вишивальних ниток, використання етнічної дизайнерської складової для оздоблення одягу, тощо [3-6].

Дослідженнями щодо оздоблення швейних виробів вишивкою займається багато дослідників. Науковець Колосніченко М.В. виконала аналіз колекцій сучасних дизайнерів, які створюють нові моделі одягу на основі українського національного костюму [7].

У роботі [8] проаналізовано народне вбрання Опілля останньої третини ХІХ – першої половини ХХ ст., у якій висвітлено техніку виконання декору з точки зору їх художнього вирішення. Також автором Куцир Т.В. запропоновано класифікацію декору залежно від його пластичних властивостей.

Питання забезпечення якості обробки матеріалів, вишитих машинним способом вивчали автори Єжова О., Пашкевич К. та інші. В роботі [9] розглянуто зразки, оздоблені вишивкою, які виконані машиною Brother Innovis 750S. В роботі представлено удосконалену класифікацію дефектів вишитих напівфабрикатів. Проведені дослідження є значним вкладом у розробку модного дизайну виробів, оздоблених машинною вишивкою.

Автор Петрівська І.І. розглянула сучасні методи проектування одягу з метою пошуку нових рішень. Використовуючи модульний метод та метод трансформації, розроблено серію жіночих суконь. У своїх працях автор стверджує, що використання даних методів проектування одягу сприяє різноманітності асортиментного ряду, відповідності сучасним моді і тенденціям [10].

У публікації Шершун М.І. [11] розглядаються основні властивості сучасних матеріалів для виготовлення суконь з точки зору можливостей їх декорування. Розглянута доцільність використання нових прийомів у проектуванні та технології виготовлення жіночого одягу з урахуванням властивостей як основних текстильних матеріалів, які декоруються, так і власне декору.

В Україні більшість досліджень, які направлені на вивчення національного одягу і розробку сучасного одягу з урахуванням національних традицій здебільшого проводять науковці та мистецтвознавці. Проте, питання проектування жіночих суконь, виконаних в етно-стилі, досліджені недостатньо. На сьогодні є невирішеними питання визначення конструктивно-технологічних рішень таких, як конфігурація деталей виробів і вибір кольорів матеріалів. Наявна інформація щодо виготовлення сучасного одягу, виконаного в етно-стилі, індивідуальна в межах кожного підприємства і пов'язана з конкретними практичними напрацюваннями, але науково не обґрунтована.

Тому, актуальними є дослідження, направлені на підвищення якості і розширення асортименту жіночого легкого одягу, виконаного в етно-стилі в умовах масового виробництва.

Виклад основного матеріалу

Для проектування сучасних моделей жіночих суконь, виконаних в етно-стилі, дизайнери часто використовують, як джерело натхнення, український національний одяг. Для створення таких моделей необхідно враховувати силует української національної сорочки, її пропорції, кольори матеріалів і ниток для вишивання, конструктивно-технологічні рішення, основні характеристики використовуваних матеріалів, тощо.

Для вирішення цих завдань потрібно виконати аналітичний огляд української національної сорочки і

врахувати її основні конструктивно-технологічні рішення в процесі проектування нових моделей жіночих суконь, виконаних в етно-стилі і розробки раціональної технології виготовлення конкурентоспроможного виробу.

Жіноча вишита сорочка використовувалась з давніх часів в усі пори року, тому вона залишається актуальною і на сьогодні. Багато сучасних дизайнерів, проєктуючи свої моделі, надихаються українським народним одягом, зокрема жіночою сорочкою.

Відтоді, як Іван Франко вперше стильно поєднав вишиванку з сучасним на той час костюмом, вишитий одяг зайняв особливе місце в гардеробах українців. Бренди одягу, які займаються виготовленням виробів з етнічними мотивами, поєднують вишиті сорочки з класичними штанами, джинсами, спідницями різних фасонів, тощо. Також традиційною українською вишивкою оздоблюють сукні, туніки, сарафани та інший одяг.

Сучасні вишиванки присутні в колекціях Оксани Караванської, Юлії Магдич. Ці дизайнери оздоблюють вироби власною авторською вишивкою. Неординарним і креативним рішенням є моделі сорочок бренду Вільні люди, які оздоблені вишитими овочами. Відомими в Україні також є бренди, що черпають натхнення з традиційного одягу, такі, як Etnodim, Vala, Roksolana Bogutska, Foberini [12].

Українські традиційні вишиті сорочки зовнішнім виглядом дещо відрізняються між собою залежно від регіону. Зокрема, спостерігаються різні види крою сорочок. Саме за кроєм, в основному, класифікують вишиті сорочки.

В своїй конструкції вишиті сорочки зазвичай є дуже раціональними, крій простий і функціональний. Основні види крою вишиванок такі:

- сорочка з плечовими вставками;
- тунікоподібна сорочка;
- сорочка з суцільнокроєним рукавом;
- сорочка з кокеткою [13,14].

Також українські вишиті сорочки можуть відрізнятися за формою рукавів, наявністю клинців і плечових вставок, наявністю і формою комірв, оформленням манжет.

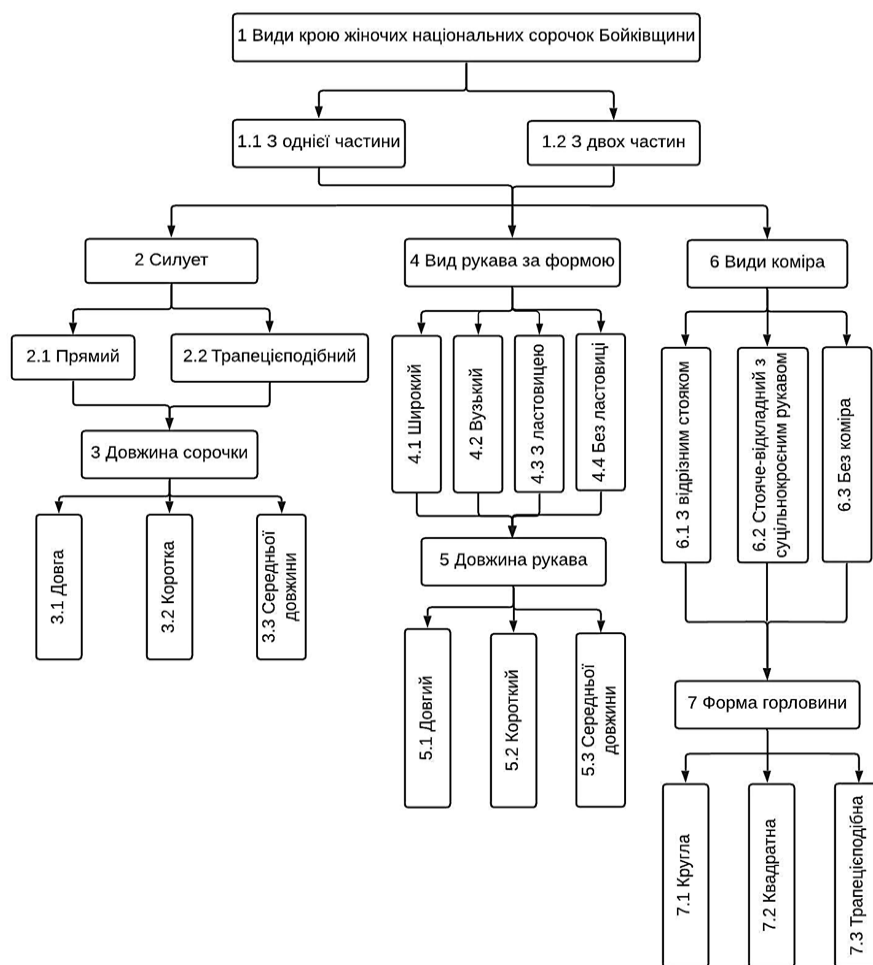


Рис. 1. Класифікатор конструктивних елементів українських національних сорочок Бойківщини

Тунікоподібний крій сорочки вважають одним з найдавніших. Цьому виду крою характерне суцільнокроєне полотнище-основа, яке перегинають поперек, а по середині цього перегину вирізають горловину. Рукави викрутуються з перегнутих повздовж полотен, які пришиваються з боків. Знизу пришивають бочки, а під пахвами спеціальні вставки – ластовиці.

Як підказує назва, конструкції вишитих сорочок з плечовими вставками властива наявність вставок, вшитих по пітканню основи сорочки або між передньою та задньою частинами основи. Такі вставки бувають трапецієподібної або прямокутної форми, їх ще називають плічками або поликами. Вставки дозволяють додати об'єму рукавам і горловині, які можна призібрати. Цей спосіб крою притаманний жіночим сорочкам і є специфічно українським.


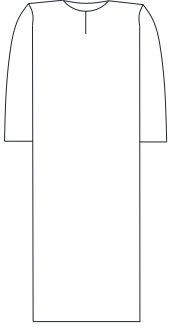
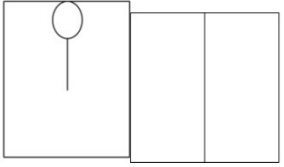
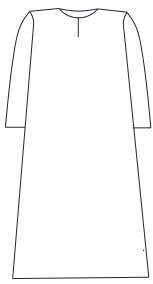
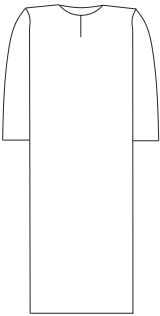

Дещо пізніше, порівняно з попередніми, появився спосіб крою сорочок з кокеткою. Кокетку кроїли на ширину спинки, до неї пришивали переднє і заднє полотнища [14].

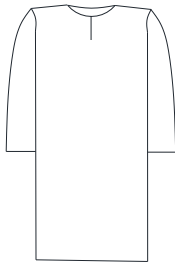

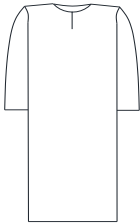
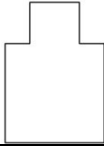
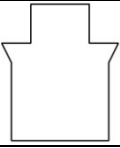



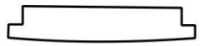


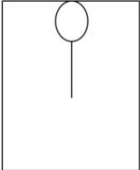
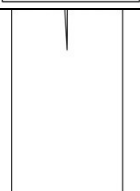
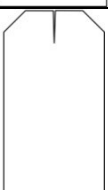
Для виготовлення сучасної жіночої сукні, виконаної в етно-стилі, прототипом якої є українська національна сорочка, надзвичайно важливим є врахування її конструктивних елементів. Проведено дослідження національної сорочки, на основі яких сформовано класифікатор конструктивних елементів українських національних жіночих сорочок бойківського регіону, рис. 1.

Використовуючи розроблений класифікатор, в роботі розроблено масив конструктивних елементів українських національних сорочок Бойківщини, табл. 1.

Таблиця 1

Масив конструктивних елементів українських національних сорочок Бойківщини

Код	Назва конструктивного елемента	Графічне зображення	Код	Назва конструктивного елемента	Графічне зображення
1	2	3	4	5	6
1	Види крою жіночих національних сорочок Бойківщини:		2	Силует:	
1.1	з однієї частини		2.1	прямий	
1.2	з двох частин (верхня і нижня частини)		2.2	трапецієподібний	
3	Довжина сорочки:		4	Вид рукава за формою:	
3.1	довга		4.1	широкий	

Код	Назва конструктивного елемента	Графічне зображення	Код	Назва конструктивного елемента	Графічне зображення
1	2	3	4	5	6
3.2	коротка		4.2	вузький	
3.3	середньої довжини		4.3	з ластовицею	
			4.4	без ластовиці	
5	Довжина рукава:		6	Види коміра:	
5.1	довгий		6.1	з відрізним стояком	
5.2	короткий		6.2	стояче-відкладний з суцільнокроєним стояком	
5.3	середньої довжини (3/4)		6.3	обробка горловини без коміра	
7	Форма горловини:				
7.1	кругла				
7.2	квадратна				
7.3	трапецієподібна				

Запропонований масив можливо розширювати і доповнювати, при умові, що в подальших дослідженнях буде виявлено ще деякі конструктивні елементи традиційних сорочок. Використовуючи конструктивні елементи масива, можливо створювати нові моделі сучасних жіночих суконь, впроваджуючи їх у масове виробництво. Комбінуючи конструктивні елементи, є можливість створювати різні варіанти моделей жіночих суконь для впровадження в багатомодельні швейні потоки.

Не менш важливим завданням є вибір кольорової гами виробів, який забезпечить багатоваріантність моделей, задовольнить потребу споживачів і значно розширить асортиментний ряд.

Для виготовлення жіночої сукні, виконаної в етно-стилі, обрано лляний матеріал. Для вибору кольору матеріалу було виконано ряд послідовних дій:

- відібрано зразки виробів українських національних сорочок;
- зразки перевірено на відсутність пороків зовнішнього виду;
- в програмному редакторі GIMP обрано інструмент, який називається «Пипетка»;
- обрано колір, який необхідно визначити;
- з випадаючого меню визначено RGB параметри кольору, де R – це червоний колір, G - зелений, B – синій;
- визначено назву кольору матеріалу;
- визначено частоту використання кольорів матеріалу жіночої національної сорочки [15].

Дослідження проведено для визначення кольорів матеріалів, які найчастіше використовувались для виготовлення українських національних сорочок у кількості 50 одиниць. Зразки жіночих національних сорочок взято в музеях «Бойківщина», який знаходиться у м. Самбір, Турківському районному народний музеї «Бойківщина» та у музеї «Дрогобиччина», м. Дрогобич. Визначення частоти використання кольорів матеріалу наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Визначення відсотку частоти використання кольорів матеріалу

Ч.ч.	Колір матеріалу	Частота використання кольорів матеріалу, %
1	блакитний	26,87
2	бежевий	21,39
3	білий	14,69
4	бордовий	9,71
5	червоний	8,84
6	чорний	7,46
7	коричневий	4,7
8	синій	3,73
9	зелений	2,61

З табл. 2 видно, що найчастіше використовувався блакитний колір матеріалу жіночої національної сорочки Бойківщини (26,87%), тому для проектування сучасної жіночої сукні, оздобленої вишивкою рекомендується використовувати саме цей колір.

Кольори бежевий (21,39%), білий (14,69%) та бордовий (9,71%) також часто використовувались для виготовлення національних сорочок. Тому їх також можна рекомендувати для виготовлення сучасних жіночих суконь, виконаних в етно-стилі.

На основі проведених досліджень побудовано діаграму частоти використання кольорів матеріалу в українській жіночій сорочці, рис. 2.

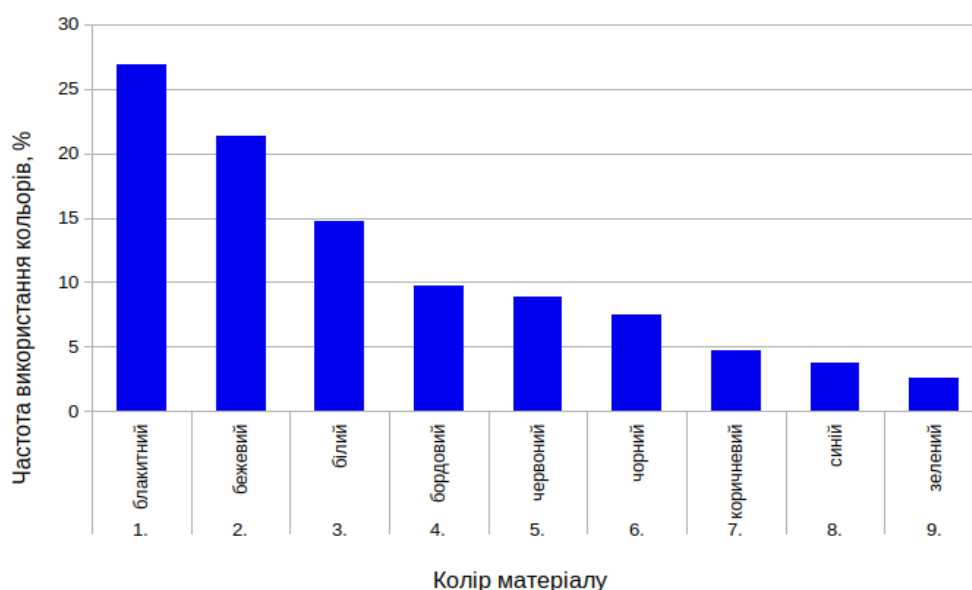


Рис. 2 - Діаграма частоти використання кольорів матеріалу в українській жіночій сорочці

В табл. 3 наведено параметри відтінків кольорів матеріалів. Ці RGB-параметри рекомендується використовувати при проектуванні сучасних жіночих суконь, виконаних в етно-стилі.

RGB-параметри відтінків кольорів матеріалів національної жіночої сорочки

Ч.ч.	Найменування кольору	RGB -параметри відтінків кольорів матеріалів		
		R	G	B
1	блакитний	0-87	149-186	213-255
2	бежевий	141-147	59-77	26-41
3	білий	206-255	200-255	210-255
4	бордовий	170-184	0-7	0-6
5	червоний	202-216	31-46	38-50
6	чорний	0-6	0-6	0-6
7	коричневий	82-96	56-61	38-44
8	синій	0-5	100-149	176-211
9	зелений	20-28	185-190	0-5

За результатами дослідження конструктивних елементів жіночих національних сорочок і кольорової гама матеріалів, було спроектовано ескізи моделей сучасних жіночих суконь повсякденного призначення, виконаних в етно-стилі. Кольори суконь обрано наступні: блакитний (частота зустрічності 26,87%), бежевий (частота зустрічності 21,39%) і бордовий (частота зустрічності 9,71%). Білий колір сукні не обрано, оскільки його зазвичай використовували для виготовлення жіночих сорочок святкового призначення. Ескізи моделей сучасних жіночих суконь представлені на рис. 3.



Рис. 3. Ескізи моделей сучасних жіночих суконь, виконаних в етно-стилі

На рис. 3 представлено три моделі-пропозиції сучасних жіночих суконь, виконаних в етно-стилі для жінок молодшого та середнього віку. Для подальшої проробки була обрана модель А, оскільки вона є найбільш оригінальною за своїм конструктивним рішенням і має найвищий коефіцієнт уніфікації ($K_6=77,8\%$). Відшитий зразок моделі А жіночої сукні представлено на рис. 4. Виріб виготовлено в промислових умовах МПП «МАК», м. Дрогобич.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведено наукові дослідження різних видів українських національних жіночих сорочок бойківського регіону кінця XIX початку XX століття щодо конструктивно-технологічних рішень.

Визначено особливості та характерні ознаки бойківських сорочок, що вирізняють їх серед інших регіонів України. Розроблено класифікатор конструктивних елементів українських національних сорочок Бойківщини. На основі розробленого класифікатора сформовано масив конструктивних елементів українських національних сорочок Бойківщини, який містить відомості про види крою сорочок, їх силуети, довжину сорочок, види рукавів за формою і їх довжини, види комірів і форми горловини.

Проведено дослідження щодо визначення кольорової гама матеріалів, які використовувались для виготовлення національних сорочок Бойківщини. Визначено, що найбільш зустрічними кольорами були: блакитний (частота зустрічності 26,87%), бежевий (частота зустрічності 21,39%), білий (частота зустрічності 14,69%) і бордовий (частота зустрічності 9,71%). В межах даної роботи білий колір сукні не рекомендовано для подальшої проробки, оскільки його використовували для виготовлення жіночих сорочок святкового призначення.



Рис. 4. Фотографічне зображення моделі жіночої сукні А, виконаної в етно-стилі

Визначено RGB-параметри відтінків кольорів матеріалів. Ці RGB-параметри запропоновано використовувати при проектуванні сучасних жіночих суконь, виконаних в етно-стилі.

Проведені дослідження надають можливість розробки практичних рекомендацій та вдосконалення способів оздоблення сучасного жіночого одягу легкого асортименту, що виконаний в етно-стилі.

В результаті проведених досліджень розроблено три ескізи моделей сучасних жіночих суконь та виготовлено модель А жіночої сукні, виконаної в етно-стилі, в умовах МПП «МАК», м. Дрогобич.

Література

1. Перспективні напрямки розвитку швейних підприємств України. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/15884/1/92-Plotnichenko-206-207.pdf/>.
2. Бродюк І.В. Інтеграція швейних підприємств України у європейський економічний простір / І.В. Бродюк // Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3729>.
3. Kuleshova S. Development of expert system based on kansei engineering to support clothing design process / S. Kuleshova, O. Zakharkevich, J. Koshevko, O. Ditkovska // *Vlakna a textile (Fibres and Textiles)* 24(3), 2017, pp. 30-42.
4. Chuprina N.V. Formation of fashion system in the XX - the beginning of the XXI century // N.V. Chuprina, T.F. Krotova, K.L. Pashkevich, T.V. Kara-Vasylieva, M.V. Kolosnichenko // *Vlakna a textile (Fibres and Textiles)* 27(4), 2020, pp. 48-57.
5. Pashkevych K.L. Modern directions of eco-design in the fashion industry / K.L. Pashkevych, K. Khyrana, O.V. Kolosnichenko, T.F. Krotova, A.M. Veklich // *Art & Design*. - No4 (08), 2019. – pp. 9-20
6. Slavinskaya A. Ethnic designer component of clothes' decoration techniques using / A. Slavinskaya, O. Syrotenko, I. Zasornova, A. Zasornov // *Vlakna a textile. (Fibres and Textiles)* 26(4), 2019. pp. 69-83.
7. Колосніченко М. Сучасна інтерпретація українського народного костюму в дизайні жіночого одягу / М. Колосніченко, К. Пашкевич, О. Єжова // Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми сучасного дизайну». – 2019. – С. 275-277. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/16057/1/APSD2020_V1_P275-277.pdf
8. Куцир Т.В. Народне вбрання опілля останньої третини XIX — першої половини XX століття: класифікація та композиційні особливості декору: дис. канд. мистецтвознавства: 17.00.06 / Куцир Тетяна Василівна – Львів, 2018. – 313 с.

9. Yezhova O. Provision of the quality of decoration of semifinished fashionable clothes, made of suiting fabrics with cotton content (denim type) / O. Yezhova, K. Pashkevich, M. Kolosnichenko, O. Abramova, L. Nazarchuk // *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)* 25(4), 2018, pp. 94-102.
10. Петрівська І.І. Розробка асортиментної серії моделей суконь на основі методів сучасного дизайн-проекування одягу / І.І. Петрівська, В.В.Фурдзин, А.І. Рубанка // *Resource-Saving Technologies of Light, Textile&Food Industry.* – 2018. pp. 139-140. URL: <https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/10828/1/P139-140.pdf>
11. Шершун М. І. Визначальні властивості сучасних матеріалів для виготовлення жіночих суконь з декоруванням / М. І. Шершун, Н. В. Білей-Рубан // *Технологія харчової та легкої промисловості*, 29(68), 2018. – С. 28. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/sntuts_2018_29\(68\)_6\(2\)_28.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/sntuts_2018_29(68)_6(2)_28.pdf)
12. Найденко Ю. Из овочами та міксом технік. Десять найкрасивіших вишиванок від українських дизайнерів і брендів. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://life.nv.ua/ukr/krasota-i-moda/den-vishivanki-2021-naykrasivishi-vishivanki-vid-ukrajinskih-dizayneriv-ta-brendiv-foto-50160910.html>.
13. Засорнова І.О. Аналітичний огляд модельних особливостей жіночих суконь кінця ХІХ початку ХХ століття / І.О. Засорнова, В.В. Буга // Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція молодих вчених та студентів «Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості». Платформа 1: Індустрія моди та технології легкої промисловості. 15-16 листопада, 2018 р. у м. Хмельницькому. С. 75-79. URL: http://tksv.khnu.km.ua/inetconf/2018/zasornova_buga.pdf
14. Куксюк А.А. Аналіз та класифікація художньо-конструктивних елементів автентичних зразків українських жіночих вишитих сорочок / А.А.Куксюк, І.В. Васильєва // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну.* - No3 (86), 2015. URL: https://www.knutd.edu.ua/publications/pdf/Visnyk/2015-3/263_271.pdf
15. Засорнова І.О. Особливості застосування кольорової гами та видів орнаментів української національної вишивки / І.О. Засорнова // *Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості: матер. Всеукраїнської наук.-практ. Інтернет-конф. молодих вчених та студентів, 22-24 жовтня 2015 р. у м. Хмельницькому: тези доп. – Хмельницький: ХНУ, 2015. – С. 30-31.*

References

1. Perspective directions of development of sewing enterprises of Ukraine. [Electronic resource] - Access mode to the resource: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/15884/1/92-Plotnichenko-206-207.pdf>.
2. Brodyuk I.V. Integration of garment enterprises of Ukraine into the European economic space / I.V. Brodyuk // *Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv.* [Electronic resource] - Access mode to the resource: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3729>.
3. Kuleshova S. Development of expert system based on kansei engineering to support clothing design process / S. Kuleshova, O. Zakharkevich, J. Koshevo, O. Ditkovska // *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)* 24(3), 2017, pp. 30-42.
4. Chuprina N.V. Formation of fashion system in the XX - the beginning of the XXI century // N.V. Chuprina, T.F. Krotova, K.L. Pashkevich, T.V. Kara-Vasylieva, M.V. Kolosnichenko // *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)* 27(4), 2020, pp. 48-57.
5. Pashkevych K.L. Modern directions of eco-design in the fashion industry / K.L. Pashkevych, K. Khyrana, O.V. Kolosnichenko, T.F. Krotova, A.M. Veklich // *Art & Design.* - No4 (08), 2019. – pp. 9-20.
6. Slavinskaya A. Ethnic designer component of clothes' decoration techniques using / A. Slavinskaya, O. Syrotenko, I. Zasornova, A. Zasornov // *Vlákna a textil. (Fibres and Textiles)* 26(4), 2019. pp. 69-83.
7. Kolosnichenko M. Modern interpretation of Ukrainian folk costume in the design of women's clothing / M. Kolosnichenko, K. Pashkevich, O. Yezhova // *International scientific-practical conference «Actual problems of modern design».* - 2019. – pp. 275-277. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/16057/1/APSD2020_V1_P275-277.pdf
8. Kutsir T.V. Folk costume of the last third of the XIX - first half of the XX century: classification and compositional features of the decoration: dis. Cand. of Art History: 17.00.06 / Kutsyr Tetyana Vasylyvna - Lviv, 2018. – 313 p.
9. Yezhova O. Provision of the quality of decoration of semifinished fashionable clothes, made of suiting fabrics with cotton content (denim type) / O. Yezhova, K. Pashkevich, M. Kolosnichenko, O. Abramova, L. Nazarchuk // *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)* 25(4), 2018, pp. 94-102.
10. Petrivska I.I. Development of an assortment series of models of dresses on the basis of methods of modern design-designing of clothes / I.I. Petrivska, V.V. Furdzin, A.I. Rubanka // *Resource-Saving Technologies of Light, Textile & Food Industry.* - 2018. pp. 139-140. URL: <https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/10828/1/P139-140.pdf>
11. Shershun M.I. Determining properties of modern materials for the manufacture of women's dresses with decoration / M.I. Shershun, N.V. Biley-Ruban // *Technology of food and light industry*, 29(68), 2018. – p. 28. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/sntuts_2018_29\(68\)_6\(2\)_28.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/sntuts_2018_29(68)_6(2)_28.pdf)
12. Naidenko U. With vegetables and a mix of techniques. Ten most beautiful embroideries from Ukrainian designers and brands. [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://life.nv.ua/ukr/krasota-i-moda/den-vishivanki-2021-naykrasivishi-vishivanki-vid-ukrajinskih-dizayneriv-ta-brendiv-foto-50160910.html>.
13. Zasornova I.O. Analytical review of model features of women's dresses of the late XIX and early XX centuries / I.O. Zasornova, V.V. Buga // *International scientific-practical Internet conference of young scientists and students "Resource-saving technologies of light, textile and food industries". Platform 1: Light industry fashion and technology.* November 15-16, 2018 in Khmelnytsky. p. 75-79. URL: http://tksv.khnu.km.ua/inetconf/2018/zasornova_buga.pdf
14. Kuksyuk A.A. Analysis and classification of artistic and constructive elements of authentic samples of Ukrainian women's embroidered shirts / A.A. Kuksyuk, I.V. Vasilieva // *Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design.* - No3 (86), 2015. URL: https://www.knutd.edu.ua/publications/pdf/Visnyk/2015-3/263_271.pdf
15. Zasornova I.O. Features of the use of colors and types of ornaments of Ukrainian national embroidery / I.O. Zasornova // *Resource-saving technologies of light, textile and food industries: mater. All-Ukrainian scientific-practical. Internet conference of young scientists and students, October 22-24, 2015 in Khmelnytsky: thesis add. - Khmelnytsky: KhNU, 2015. – pp. 30-31.*

ЧУЙКО М. М.

ORCID ID: 0000-0001-9380-8735

e-mail: marynanikol@ukr.net

Навчально-науковий Харківський торговельно-економічний інститут Української інженерно-педагогічної академії

ЧУЙКО А. М.

ORCID ID: 0000-0003-2551-844x

e-mail: chuiko76@ukr.net

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

ЕФЕКТИВНІСТЬ СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВИХ ЖИРІВ ТА МОЖЛИВІСТЬ ПОДОВЖЕННЯ ЇХ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ

Стаття присвячена актуальним питанням використання порошків з різних фракцій виноградних вичавків та екстракту з них як антиоксидантів для жирів, що застосовуються на підприємствах харчової промисловості та ресторанного господарства. Проведений раніше аналіз хімічного складу порошків із виноградних вичавків показав, що в них максимально зберігаються в нативному вигляді всі біологічно активні речовини та вітамінні комплекси, у тому числі відповідальні за антиоксидантну активність. Встановлено, що для сповільнення процесу окислення жирів і збільшення термінів їх зберігання, раціональним є попереднє введення в ці жири порошків з виноградних вичавків в кількості 5 % до маси жиру і екстракту з вичавків винограду у кількості 0,5 % (на сухі речовини) до маси жиру. Такі концентрації добавок не погіршують органолептичні та фізико-хімічні показники якості вихідної продукції та можуть подовжити термін зберігання, зокрема, вершкового масла на 30-80 %.

Ключові слова: жири, стабілізація жирів, порошки з вичавків винограду, антиоксиданти, зберігання жирів, окислення жирів, вершкове масло, маргарин.

MARYNA CHUIKO

Educational and Scientific Kharkiv Institute of Trade and Economics of Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

ANDRII CHUIKO

V. N. Karazin Kharkiv National University

EFFICIENCY OF STABILIZING OF FOOD FATS AND POSSIBILITY OF EXTENDING THEIR STORAGE TERMS

It is important today to increase the shelf life of fats used for the production of culinary and confectionery products in the food industry and in the restaurant industry. Fats are part of a variety of dishes and products in various quantities (from 1 % in fresh salads to almost 85 % in creams). When stored under the influence of light, air and moisture in fats, chemical reactions occur, mainly oxidative, which significantly impair their organoleptic and physicochemical parameters. In existing recipes, most dishes use mainly vegetable oil, margarine, cooking fat, and for children's and special dietary foods - butter. Therefore, it was important to investigate the use of powders from different fractions of grape pomace and pomace extract as antioxidants for some fats with a very limited shelf life, including butter and margarine, which are often used to produce a variety of culinary products and confectionery. The article is devoted to topical issues of using powders from different fractions of grape pomace and their extract as antioxidants for food fats. A previous analysis of the chemical composition of powders from grape pomace showed that they retain as much as possible in native form all biologically active substances and vitamin complexes, including those responsible for antioxidant activity. It is established that to slow down the oxidation of fats and increase their shelf life, it is rational to pre-introduce into these fats powders of grape pomace in the amount of 5 % by weight of fat and extract from grape pomace in the amount of 0,5 % (dry matter) by weight fat. Such concentrations of additives do not impair the organoleptic and physicochemical parameters of the quality of the original product and can extend the shelf life, in particular, butter by 30-80 %. Such an increase in the shelf life of butter in production will contribute to a slower accumulation of free acids and peroxides during the established shelf life.

Keywords: fats, fat stabilization, grape pomace powders, antioxidants, fat storage, fat oxidation, butter, margarine.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Актуальним на сьогоднішній день є підвищення термінів зберігання жирів, що використовуються для виробництва кулінарної і кондитерської продукції у ресторанній галузі. Жири входять до складу різноманітних страв і виробів в різних кількостях (від 1 % в свіжих салатах до майже 85 % в кремах). При зберіганні під дією світла, повітря й вологи в жирах відбуваються хімічні реакції, переважно окислювальні, які значно погіршують їх органолептичні та фізико-хімічні показники [1].

В існуючих рецептурах більшості страв використовують в основному рослинну олію, маргарин, кулінарний жир, а для дитячого і спеціального дієтичного харчування – вершкове масло. Тому важливим є дослідження можливості використання порошків з різних фракцій виноградних вичавків та екстракту з вичавків як антиоксидантів для деяких жирів, що мають досить обмежений термін зберігання, зокрема вершкового масла і маргарину, які часто використовуються у ресторанному господарстві для виробництва різноманітної кулінарної продукції та кондитерських виробів.

Аналіз досліджень та публікацій

Зазвичай згіркнення жирів відбувається в результаті дії кисню на вуглеводні радикали зв'язаних та вільних жирних кислот. У результаті цього одночасно утворюється ряд продуктів розкладу, які мають різну кількість вуглецевих атомів. Інтенсивність окислення, у свою чергу, суттєво залежить від наявності в системі каталізаторів або інгібіторів окислення [2].

Щоб уповільнити процеси псування жирів, необхідно введення сировини або речовин антиокислювальної дії. Розрізняють натуральні та штучні антиокислювачі. Внаслідок того, що штучні антиоксиданти негативно впливають на обмінні процеси і можуть проявляти токсичні та канцерогенні дії, застосування їх у ресторанному господарстві і харчовій промисловості обмежене. Тому останнім часом отримання та використання безпечних для людини природних антиокислювачів приділяється особлива увага. До них відносяться ефірні олії, вітаміни, поліфенольні сполуки та ін.

В даний час у всьому світі широку популярність здобули біофлавоноїди або вітамін Р-комплекс. Ця група речовин привернула пильну увагу вчених, тому що ці антиоксиданти не тільки здатні активно протистояти вільно-радикальному окисленню жирів, а й зв'язувати іони важких металів, радіонукліди у стійкі комплекси та виводити їх з організму, а також запобігати виникненню онкологічних, серцево-судинних захворювань та частково відновлювати порушені функції організму [3].

Перспективним видом сировини, що містить значну кількість біофлавоноїдів, з погляду собівартості та ефективності застосування є виноградні вичавки. Аналіз хімічного складу порошків із виноградних вичавків показав, що в них максимально зберігаються в нативному вигляді всі біологічно активні речовини та вітамінні комплекси, у тому числі відповідальні за антиоксидантну активність [3].

На сьогодні існує велика кількість сировини та добавок, які можуть виступати антиокислювачами жирової складової продуктів харчування [4]. Проте не припиняється активний пошук нових ефективних джерел природних антиокислювачів для стабілізації якості продуктів, що містять значну кількість жиру. Перспективними в цьому напрямку можна вважати порошки з виноградних вичавків, тим більше, що вони є відходами при виробництві соків та вин. Тому було цікаво встановити, як додавання порошків з виноградних вичавків та екстракту з них буде впливати на термін зберігання жирових продуктів.

В даній роботі ми торкаємось дослідження маргарину і вершкового масла. Наявність у цих жирах водної фази (близько 16-18 %) обумовлює обмежений їх термін зберігання внаслідок одночасного протікання хімічного і біохімічного окислення. Інші жири, що використовуються у ресторанному господарстві, містять меншу частку водної фази в продукті, тому гідролітичне розщеплення у таких жирах відбувається набагато повільніше.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження ефективності стабілізації жирів, що використовуються у ресторанній галузі, порошками з виноградних вичавків та можливість подовження їх термінів зберігання.

Виклад основного матеріалу

Для порівняння впливу антиоксидантних властивостей порошків і екстрактів на швидкість окислення вершкового масла і маргарину в даній серії дослідів використовували порошок і спирто-гліцериновий екстракт із вичавків винограду сорту Каберне.

Досліди по окисленню зразків вершкового масла і маргарину (чистих – контрольних зразків, та з добавками порошків і екстракту з виноградних вичавків) проводили на манометричній установці при температурі 70 °С (343 К). У якості розчинника використовували інертний вуглеводень – о-ксиллол, концентрація ініціатора – 0,1М АБН (азобіс-ізо-бутіронітрила) складала $4 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Концентрація порошків із шкірочки, насіння та вичавків винограду в жирах складала від 0,5 до 5 %, а концентрація спирто-гліцеринового екстракту з вичавків винограду – 0,05 – 0,5 % (на сухі речовини). На основі отриманих даних були побудовані графіки залежності швидкості поглинання кисню від часу, за допомогою яких графічно були визначені періоди індукції та розрахована антиокислювальна стійкість дослідних систем інгібітор-жир, що використовувались (табл. 1).

Антиокислювальну стійкість систем (А) виражали як відношення періодів індукції окислення проби в присутності інгібітору і контрольної проби:

$$A = \frac{t_n}{t_k} \quad (1)$$

де t_n – період індукції окислення проби в присутності інгібітору;

t_k – період індукції окислення контрольної проби.

Як видно з таблиці 1, періоди індукції окислення вершкового масла та маргарину в присутності всіх добавок з виноградних вичавків значно більше періоду індукції контрольних зразків жиру (без добавок), тобто добавки гальмують окислення вершкового масла і маргарину і, таким чином, є інгібіторами окислення цих жирів.

Порошки з виноградних вичавків виявляють антиоксидантні властивості в жирах в меншому ступені, ніж екстракти, причому найбільший вплив на пригнічення окислювальних процесів серед порошків виявляють порошки із шкірочки, а найменше – з насіння винограду. Так, при внесенні до вершкового масла 5 % порошків із шкірочки, насіння і вичавків винограду, антиокислювальна стійкість системи збільшується у 4,0; 2,8 і 3,8 раз відповідно, а при додаванні до масла спирто-гліцеринового екстракту з вичавків винограду в кількості 0,5 % (на сухі речовини) антиокислювальна стійкість системи збільшується у 8,4 рази. При цьому антиокислювальна стійкість чистого вершкового масла (контроль) приймалась за 1,0. З підвищенням концентрації у маслі добавок ефективність його стабілізації збільшується.

Дані дослідження показали, що спирто-гліцериновий екстракт з виноградних вичавків більш ніж у 2 рази, в порівнянні з порошком з вичавків, ефективніше гальмує окислювальні процеси, що відбуваються у вершковому маслі. Це пояснюється використанням для приготування екстрактів ефективних розчинників – спирту і гліцерину, що сприяють максимальному вивільненню (екстрагуванню) назовні з рослинної тканини

Таблиця 1

Вплив добавок з вичавків винограду на швидкість ініційованого окислення вершкового масла та маргарину

Найменування добавок	Вміст добавок, % (на сухі речовини) до маси жиру	Період індукції, хв.		Антиокислювальна стійкість системи	
		Вершкове масло	Маргарин	Вершкове масло	Маргарин
Контроль (без добавок)	-	5	39	1,0	1,0
Порошок із шкірочки	0,5	6	44	1,2	1,1
	1	7	49	1,4	1,2
	2	10	53	2,0	1,4
	3	12	57	2,4	1,5
	4	16	61	3,2	1,6
	5	20	67	4,0	1,7
Порошок з насіння	0,5	5	41	1,0	1,1
	1	6	43	1,2	1,1
	2	7	46	1,4	1,2
	3	9	50	1,8	1,3
	4	11	54	2,2	1,4
	5	14	59	2,8	1,5
Порошок з вичавків	0,5	6	43	1,2	1,1
	1	7	47	1,4	1,2
	2	9	51	1,8	1,3
	3	11	55	2,2	1,4
	4	14	59	2,8	1,5
	5	19	64	3,8	1,6
Спирто-гліцериновий екстракт з вичавків	0,05	7	41	1,4	1,1
	0,1	9	43	1,8	1,1
	0,2	15	47	3,0	1,2
	0,3	22	53	4,4	1,4
	0,4	31	61	6,2	1,6
	0,5	42	73	8,4	1,9

біологічно активних речовин, і, насамперед, фенольних сполук, що володіють сильними антиоксидантними властивостями. При внесенні ж порошоків безпосередньо до масла, дифузійні процеси йдуть досить повільно. Прискорити їх можна введенням розчинників фенольних речовин (наприклад, спирту, гліцерину) або перемішуванням при підвищених температурах (50-60 °C). Однак, для вершкового масла і маргарину, які використовуються у виробництві кондитерських виробів, підвищення температури приводить до розшарування системи (емульсії) і неможливості використання останньої для приготування продукції необхідної якості.

З отриманих даних видно значно менший вплив добавок з виноградних вичавків як інгібіторів окислення на маргарин у порівнянні з їх впливом на вершкове масло. Це пояснюється тим, що маргарин у своєму складі містить значну кількість природних антиоксидантів (зазначимо, що вміст токоферолів у маргарині – 30-100 мг%, в той час як у вершковому маслі він складає 1,7-4,0 мг%) [3]. А оскільки на сьогоднішній день токоферолі вважаються одними з найдужчих інгібіторів ланцюгового окислення (константа швидкості інгібування $k_7 \geq 2 \cdot 10^5$ л/моль·с) для додаткової стабілізації жирів, що містять токоферолі, необхідне введення інгібіторів, які виявляють синергізм при їх взаємодії.

Оскільки на практиці період індукції еквівалентний терміну зберігання жирів, то термін зберігання вершкового масла з добавками порошоків з різних фракцій виноградних вичавків в кількості 1,0–5,0 % (на сухі речовини) до маси масла може бути збільшений в 1,2-4,0 рази відповідно, а термін зберігання маргарину з тими ж концентраціями порошоків з виноградних вичавків може бути збільшений відповідно на 10-70 %. Введення спирто-гліцеринового екстракту з виноградних вичавків у кількості 0,1-0,5 % (на сухі речовини) до вершкового масла дасть можливість збільшити термін його зберігання в 1,8-8,4 рази відповідно, а внесення цих же кількостей екстракту до маргарину подовжить термін його зберігання на 10-90 %.

Згідно нормативної документації термін зберігання відповідних жирів визначається станом їх ліпідного комплексу. Так, для вершкового масла з масовою часткою жиру до 82,5 % термін його зберігання за температури від 0 до -5 °C складає 60 діб, а для маргарину з вмістом жиру до 82 % – 180 діб за таких самих умов зберігання. З огляду на те, що термін зберігання вершкового масла фактично в три рази менший за термін

зберігання маргарину, далі доцільним було провести дослідження впливу добавок з виноградних вичавків на якість вершкового масла в процесі зберігання. Порошки із шкірочки, насіння та вичавків винограду додавали у кількості 5 % до маси вершкового масла та вистоявали їх протягом 12 годин при температурі 18...20 °С. Екстракт з вичавків винограду вводили в кількості 0,5 % (на сухі речовини) до маси вершкового масла без попереднього вистоявання. Дослідні зразки жирів зберігались при температурі 5±3 °С і відносній вологості повітря не більше 75 % протягом двох місяців.

У зв'язку з тим, що маргарин і вершкове масло зберігають виключно у холодильних шафах, основні зміни ліпідного комплексу цих продуктів будуть пов'язані з процесом самоокислення. Хід окислювальних процесів у цих жирах буде залежати від вихідного стану сировини (ступеню окислення жиру та від його жирно-кислотного складу) і матиме свої особливості. Окислювальні процеси контролювали за зміною кислотних, перекісних та карбонільних чисел.

Показником, який характеризує вміст вільних жирних кислот, є кислотне число. Відомо, що чисті високомолекулярні жирні кислоти не мають ані смаку, ані запаху. Проте, наявність у жирі вільних низькомолекулярних жирних кислот змінює його смак і запах більш суттєво. Однією з причин накопичення вільних жирних кислот є гідроліз ацилгліцеринів жиру, який відбувається при обов'язковій наявності водної фази і в нашому випадку не може бути виключений. Збільшення вмісту вільних жирних кислот за рахунок біохімічного окислення ненасичених жирних кислот ацилгліцеринів, що обумовлене діяльністю ферментів ліпоксигеназ, які є результатом життєдіяльності мікроорганізмів, головним чином плісневих грибів, також не слід виключати, оскільки як маргарин, так і вершкове масло мають достатню для цих процесів вологість.

Підвищення кислотного числа також може відбуватися за рахунок дії молекулярного кисню. Найбільш легко окислюється вершкове масло, в якому більше ненасичених жирних кислот. Жирні кислоти, що накопичуються в цьому разі, мають більш низьку молекулярну масу ніж кислоти, що входили до складу вихідних ацилгліцеринів жиру. Швидкість цього процесу в значному ступені залежить ще й від присутності у жирі прискорювачів окислення або антиокислювачів.

Аналіз зміни кислотних чисел жиру вершкового масла показав (рис. 1), що приріст вільних жирних кислот в дослідних зразках іде набагато повільніше, ніж у контролі, який не містить антиоксидантів. Жир контрольного зразка на 30-й день зберігання досягає значення кислотного числа 1,8 мг КОН, в той час як жир зразків з порошками із шкірочки – 1,5, насіння – 1,1, вичавків винограду – 1,3 та зразка з екстрактом з вичавків – 1,2 мг КОН. Порівняно високі значення кислотного числа зразка жиру з порошком із шкірочки винограду пояснюється високою власною кислотністю цього порошку. Проте в процесі зберігання значення кислотного числа жиру зразка з порошком із шкірочки винограду змінюється повільніше, ніж у зразків з насінням, вичавками та екстрактом з вичавків.

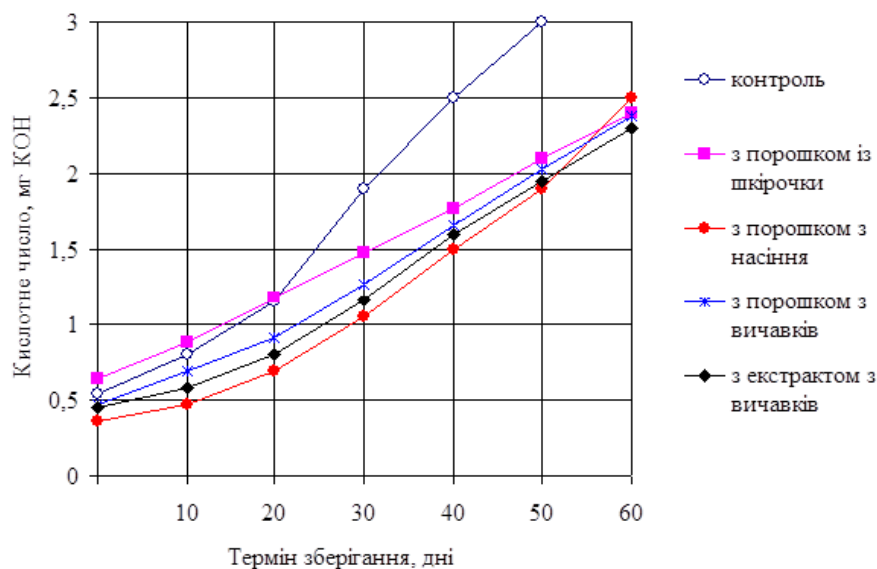


Рис. 1. Зміна кислотних чисел жиру вершкового масла з добавками з виноградних вичавків в процесі зберігання

Однак, вільні жирні кислоти не викликають відчуття згіркlosti жиру. Більш характерним для згірклих жирів є наявність у їх складі перекісних сполук. Тому нами проведені дослідження щодо встановлення зміни перекісного числа жирової складової зразків вершкового масла з різними добавками з виноградних вичавків у процесі зберігання (рис. 2).

Видно, що всі зразки масла з добавками виноградних вичавків мають однакову форму кривих накопичення перекісних сполук, однак, швидкість їх накопичення різна. Криві мають виражений індукційний період, що обумовлено дією інгібіторів.

Порошки з виноградних вичавків містять значну кількість фенольних сполук, які є природними антиоксидантами, що і зумовлює гальмування перекісного окислення досліджуваних жирів. Відсутність індукційного періоду в жирі контрольного зразка свідчить про те, що до його складу не входять речовини,

здатні гальмувати перекісне окислення. Після закінчення індукційного періоду дослідних зразків спостерігається крутий підйом кривих накопичення перекісних сполук, типовий для автоокислення.

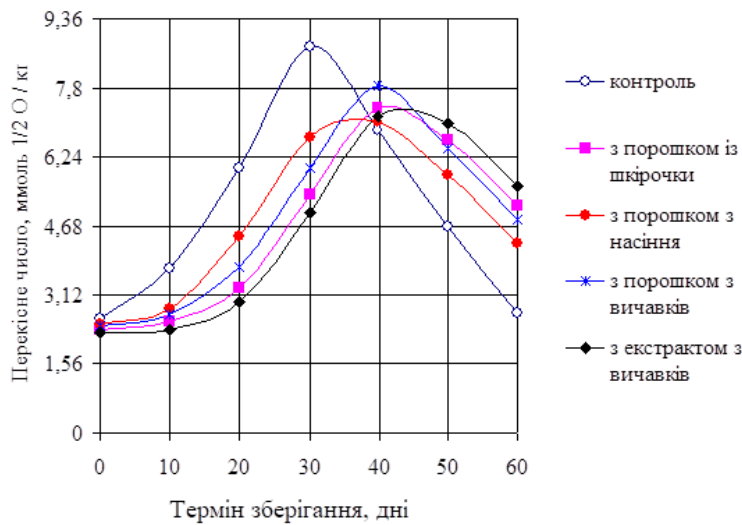


Рис. 2. Зміна перекісних чисел жиру вершкового масла з добавками з виноградних вичавків в процесі зберігання

Численними дослідженнями по виробництву і зберіганню жирів, які були проведені вченими [2], встановлено, що при зберіганні зразків вершкового масла і маргарину при встановлених ДСТУ умовах зберігання погіршення органолептичних показників якості даних жирів відбувається при досягненні значення перекісного числа 0,08 % йоду (або $6,24 \frac{\text{ммоль}1/2\text{O}}{\text{кг}}$). На думку авторів, це викликане появою вторинних продуктів розкладу перекісних сполук і неприпустимо для доброякісних продуктів. Хоча такий показник в нормативній документації відсутній, вважаємо за доцільне ввести в нові ДСТУ показник доброякісності жирів, за який слід прийняти значення перекісного числа не більше 0,08 % йоду (або $6,24 \frac{\text{ммоль}1/2\text{O}}{\text{кг}}$).

Динаміка накопичення перекисів різна для всіх зразків. Так, в контрольному зразку кількість перекисів досягає значення $6,24 \frac{\text{ммоль}1/2\text{O}}{\text{кг}}$ через 21 день зберігання, зразок з порошком з насіння винограду – через 38 днів, з порошком із вичавків – через 30 днів, з порошком із шкірочки – через 35 днів, а з екстрактом з вичавків винограду – через 37 днів.

Таким чином, порівнюючи криві накопичення перекисів, можна сказати, що додавання добавок з виноградних вичавків до складу вершкового масла гальмує окислювальні процеси.

Появу вторинних продуктів окислення (рис. 3) контролювали за методом, заснованим на реакції карбонільних сполук з бензидинацетатом [3]. Продукти взаємодії альдегідів з бензидином інтенсивно поглинають світло в ультрафіолетовій області з максимумом при 350 нм.

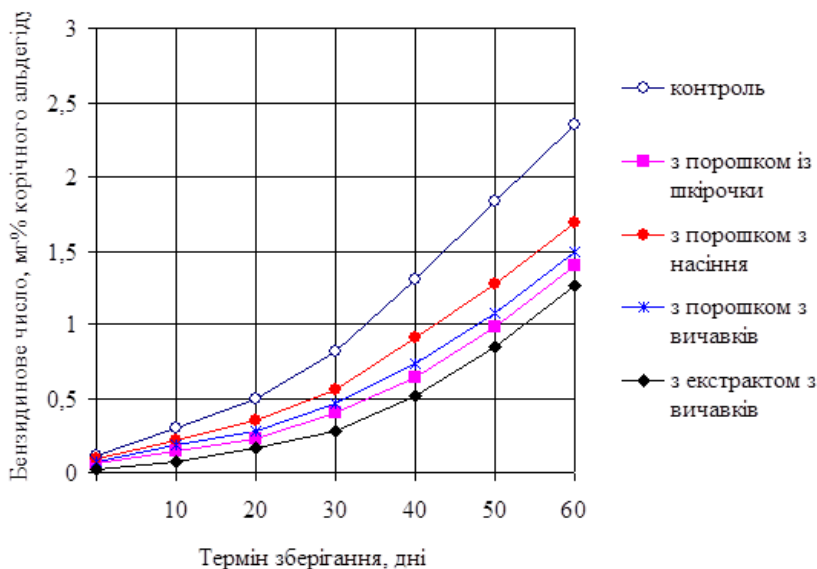


Рис. 3. Зміна карбонільних чисел жиру вершкового масла з добавками з виноградних вичавків в процесі зберігання

Видно, що інтенсивний приріст карбонільних сполук спостерігається наприкінці нормованого терміну зберігання зразків масла. Їх утворення супроводжується розкладанням перекисів. При цьому відбувається погіршення органолептичних показників. З графіків видно, що більше всього карбонільних сполук утворюється в контрольному зразку, а менше всього – в зразку з екстрактом з виноградних вичавків. Зразки з порошками із шкірочки, насіння та вичавків винограду також суттєво знижують накопичення карбонільних сполук, насамперед, альдегідів відносно зразка без добавок антиоксидантів з виноградних вичавків.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

З отриманих даних можна зробити висновок, що для сповільнення процесу окислення жирів і збільшення термінів їх зберігання, раціональним є попереднє введення в ці жири добавок з виноградних вичавків в концентраціях, які б не погіршували органолептичні та фізико-хімічні показники якості вихідної продукції. Встановлено, що додавання порошоків з виноградних вичавків в кількості 5 % до маси жиру і екстракту з вичавків винограду у кількості 0,5 % (на сухі речовини) до маси жиру подовжує термін зберігання вершкового масла на 30-80 %. Таке підвищення термінів зберігання вершкового масла на виробництві сприятиме більш повільному накопиченню в ньому вільних кислот та перекисних сполук протягом встановленого терміну зберігання, що є вельми актуальним для підприємств харчової промисловості та ресторанного господарства.

Література

1. Тютюнников Б. Н. Хімія жирів / Б. Н. Тютюнников, З. І. Бухштаб, Ф. Ф. Гладкий та ін. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2002. – 452 с.
2. Пищевая химия / А. Н. Нечаев, С. Е. Траубенберг, А. А. Кочеткова и др. Под ред. А. П. Нечаева. Издание 4-е, испр.и доп. – СПб. : ГИОРД, 2007. – 640 с.
3. Лисюк Г. М. Нові напрями використання вторинних продуктів переробки винограду у виробництві борошняних виробів : монографія / Г. М. Лисюк, Н. В. Верешко, А. М. Чуйко. – Харків : ХДУХТ, 2011. – 220 с.
4. D. Firestone. Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats, and Waxes, 3rd ed. / Firestone D. – Urbana, Illinois : AOCS Press, 2013. – 304 p.

References

1. Tiutiunnykov B. N. Khimiia zhyriv / B. N. Tiutiunnykov, Z. I. Bukhshtab, F. F. Hladkyi ta in. – Kharkiv : NTU «KhPI». – 2002. – 452 s.
2. Pishhevaya himiya / A. N. Nechaev, S. E. Traubenberg, A. A. Kochetkova i dr. Pod red. A. P. Nechaeva. Izdanie 4-e, ispr.i dop. – SPb. : GIORD, 2007. – 640 s.
3. Lysiuk H. M. Novi napriamy vykorystannia vtorynnykh produktiv pererobky vynohradu u vyrobnytstvi boroshnianskykh vyrobiv : monohrafiia / H. M. Lysiuk, N. V. Vereshko, A. M. Chuiko. – Kharkiv : KhDUKhT, 2011. – 220 s.
4. D. Firestone. Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats, and Waxes, 3rd ed. / Firestone D. – Urbana, Illinois : AOCS Press, 2013. – 304 p.

Рецензія/Peer review : 25.01.2022 р.

Надрукована/Printed : 27.02.2022 р.

ПРИСЯЖНИК Д. В.

ORCID ID: 0000-0002-6369-5781

e-mail: m09049@meta.ua

Відокремлений структурний підрозділ «Ладжинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗИ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ ОЗОНОПОВІТРЯНОЮ СУМІШШЮ ПРИ ВІБРАЦІЙНОМУ СУШІННІ

В роботі наведено методику визначення дози обробки зернової сировини при сушінні озоноповітряною сумішшю з використанням розробленого віброозонуючого комплексу, який забезпечуватиме високоякісне виконання технологічного процесу із одночасним зниженням споживаних енерговитрат.

Ключові слова: зернова сировина, післязбиральна обробка, сушіння, вібрація, озон, віброозонуючий комплекс, доза обробки.

DMYTRO PRYSIAZHNIUK

Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University»

DETERMINATION OF THE DOSE OF PROCESSING GRAIN RAW MATERIALS WITH OZONE-AIR MIXTURE DURING VIBRATION DRYING

Increasing grain production and the preparation of the required amount of seed place new demands on the machinery and technology used for post-harvest treatment and, in particular, the drying of crops.

As classical thermal methods of grain drying are very energy-intensive, the possibility of their effective application is limited by the properties of the dried material. The dryers used are physically and morally obsolete and do not meet modern energy saving requirements. Therefore, it is necessary to carry out intensive steps to develop and implement in the production of modern high-performance methods of grain drying and drying equipment designs.

Promising ways to improve the quality of grain material and reduce energy consumption in the technological operation of drying is the use of vibration, ensuring uniform processing of grain material by constantly updating the surface of the grain in contact with the drying agent and the introduction of ozone drying.

To implement high-quality drying of grain raw materials, an experimental model of a vibro-ozone complex was designed and manufactured, in which the processed material is subjected to vibration, which increases and renews the heat transfer surface. As a result, there is an intensive removal of moisture, increasing the drying rate. The drying process is moderate throughout the layer, without causing local overheating of the material.

When drying grain raw materials in the vibro-ozone complex, in order to optimize the implementation of this technological process, it is necessary to establish one of the important parameters, namely the dose of treatment with ozone-air mixture.

The method of determining the dose of processing of grain raw materials during drying with ozone-air mixture using the developed vibro-ozone complex, providing high-quality implementation of the technological process while reducing energy consumption.

Keywords: grain raw materials, post-harvest treatment, drying, vibration, ozone, vibro-ozone complex, treatment dose.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Зростаючі обсяги виробництва зернової сировини та підготовка необхідної кількості посівного матеріалу ставлять нові вимоги до техніки і технологій, що використовуються для післязбиральної обробки і, зокрема, сушіння сільськогосподарських культур.

Існуючі зерносушарки працюють неефективно, вони громіздкі, метало- та енергоємні, складні в обслуговуванні та ремонті і мають високу вартість.

Суттєво інтенсифікувати процес сушіння зернової сировини можна шляхом використання вібраційних технологій та обладнання у поєднанні із введенням до складу сушильного агента озону.

Однак, з огляду на складність проблеми, яка пов'язана із багатьма факторами, в тому числі, відсутністю методики визначення дози обробки зернової сировини озоноповітряною сумішшю, обґрунтована гіпотеза механізму сушіння зерна в озоноповітряному середовищі досі не розроблена, і даний спосіб сушіння не отримав широкого практичного застосування.

Аналіз досліджень та публікацій

У зв'язку із значними недоліками існуючих традиційних засобів і способів сушіння зернової сировини відбувається інтенсивний науковий пошук, присвячений розробці методів зниження енерговитрат при виконанні даного технологічного процесу. В роботі [1] одним з таких методів пропонується використання в якості сушильного агента озоноповітряної суміші.

У роботі [2] закладено основи енергозберігаючого сушіння зерна озоноповітряною сумішшю (електроактивованим сушильним агентом). Висунуто ряд гіпотез механізму впливу повітря з вмістом озону на процес сушіння і здійснена спроба теоретичного обґрунтування тепло- і масообмінних процесів в присутності озону, а також впровадження озоноповітряного сушіння в сільське господарство.

У роботі [3] визначений позитивний вплив обробки озоноповітряною сумішшю харчових продуктів, в тому числі і зернової сировини при подальшому зберіганні. Зазначено, що дана обробка здатна

інактивувати такі мікроорганізми, як віруси, бактерії, плісняви та дріжджі, за короткий час контакту. Таким чином, озон є «зеленою технологією» через зменшення накопичення неорганічних відходів у навколишньому середовищі. Крім того, швидке розкладання озону та відсутність токсичних залишків у продуктах харчування сприяє впровадженню та використанню цієї чистої та прийнятної для довкілля технології [3]. Застосування озону не лише покращує мікробіологічну безпеку харчових продуктів, але й продовжує термін їх зберігання без істотної зміни їх поживних, хімічних та фізичних властивостей.

В роботі [4] зазначено, що одним із перспективних методів підвищення швидкості сушіння є впровадження вібротехнологій. Вплив вібраційних коливань на шар матеріалу дає можливість його активного переміщення. Траєкторія, частота і амплітуда коливного руху визначають інтенсивність руху частинок матеріалу. Коливання сушильної камери забезпечує розрихлення шару матеріалу і створює умови, при яких більша частина його поверхні бере участь в теплообміні з теплоносієм [5].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: визначення дози обробки зернової сировини озоноповітряною сумішшю при сушінні з використанням розробленого віброозонуючого комплексу.

Виклад основного матеріалу

Для реалізації високоякісного сушіння зернової сировини із одночасним зниженням споживаних енерговитрат було спроектовано та виготовлено дослідну модель віброозонуючого комплексу (рис. 1), в якому матеріал, що обробляється, піддається вібраційному впливу, який збільшує і оновлює поверхню теплообміну [6]. В результаті цього відбувається інтенсивне зняття вологи, збільшується швидкість сушіння. Процес сушіння відбувається рівномірно по всьому шару, не викликаючи місцевий перегрів матеріалу.

В якості сушильного агента використовується суміш підігрітого повітря та озону певної концентрації, який генерується з допомогою коронного розряду у електронному пристрої синтезу озону (рис. 2).

Віброозонуючий комплекс являє собою герметичну U-подібну камеру, встановлену на рамі з допомогою пружин. Камера містить завантажувальний і розвантажувальний лотки, а також повітропровід для виведення відпрацьованого сушильного агента. Збоку камери розміщений вал з двома дебалансами, який через еластичну муфту з допомогою трифазного електродвигуна приводиться в обертний рух.

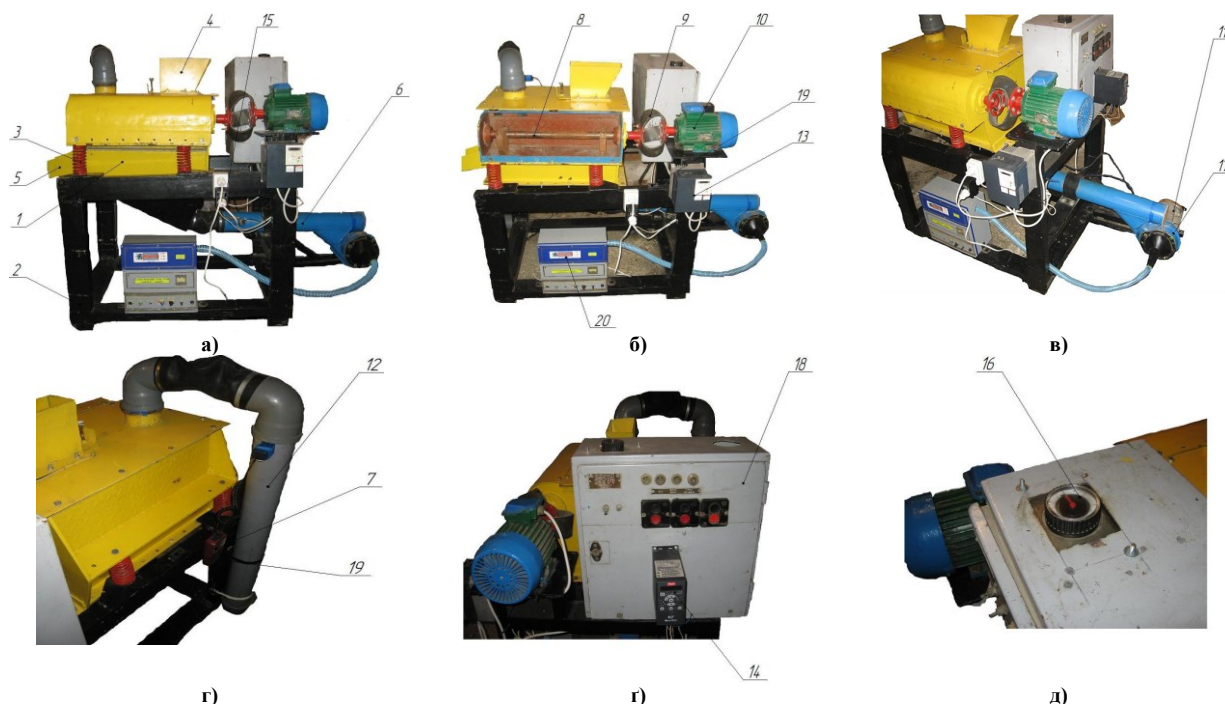


Рис. 1 Дослідна модель віброозонуючого комплексу: а), б) – вигляд спереду; в), г), г) – вигляд збоку; д – вигляд зверху; 1 – U-подібна камера; 2 – рама; 3 – пружини; 4, 5 – завантажувальний і розвантажувальний лотки; 6, 12 – відповідно вхідний та вихідний повітропроводи; 7 – термоанемометр; 8 – дебалансний вал; 9 – еластична муфта; 10 – електродвигун привода дебалансного вала; 11 – електродвигун привода вентилятора; 13, 14 – частотні перетворювачі; 15 – терморегулятор; 16 – реле часу; 17 – вентилятор; 18 – блок керування; 19 – вологоміри; 20 – електронний пристрій синтезу озону



Рис. 2 Електронний пристрій синтезу озону: а) – загальний вигляд; б) – робоча камера синтезу озону

В нижній частині камери є повітропровід з електричними нагрівальними елементами, через який надходить підігріте повітря і озон, що генерується озонатором, і подається вентилятором з допомогою електродвигуна.

Принцип роботи комплексу полягає в тому, що сушильний агент, який складається з підігрітого повітря та озону певної концентрації, подається за допомогою вентилятора, закріпленого на рамі, в U-подібну герметичну камеру, в якій знаходиться зернова сировина. Одночасно вмикається електропривод дебалансного валу. Сушильний агент, проходячи через шар зерна та знімаючи певний відсоток вологи, поступає у вихідний повітропровід, через який видаляється із сушильної камери.

При сушінні зернової сировини у віброозонуючому комплексі з метою оптимізації виконання даного технологічного процесу необхідно встановити один із важливих параметрів, а саме дозу обробки озоноповітряною сумішшю. Хімічний склад зерна різноманітних сільськогосподарських культур відрізняється незначно. З цього слідує, що вплив обробки озном для різноманітних культур повинен описуватися певними загальними параметрами та підпорядковуватися загальним закономірностям [7].

Визначаємо ефективну дозу озону для обробки 1 кг зерна:

$$D = CV_y, \quad (1)$$

$$D = \frac{CVt}{m}. \quad (2)$$

де C – концентрація озону в озоноповітряній суміші, мг/м³.

Визначимо питому кількість озоноповітряної суміші на 1 кг зерна:

$$V_y = \frac{Vt}{m}, \quad (3)$$

де V – кількість повітря, що подається, м³/с;

t – час обробки с;

m – маса зерна, що обробляється, кг.

Доза обробки озоноповітряною сумішшю 1 кг зерна кукурудзи становить $\approx 0,06$ м³; пшениці – $\approx 0,045$ м³, при цьому доза обробки на 1 кг зерна кукурудзи складає 1,91 мг озону; пшениці – 1,44 мг озону.

Розглядаючи насіння кукурудзи та пшениці, потрібно відзначити, що середній діаметр зернин відповідно $D_1 = 7$ мм та $D_2 = 3$ мм, при чому висота зернини пшениці $h = 5$ мм, середня маса тисячі насінин кукурудзи $m_1 = 300$ гр, пшениці – $m_2 = 45$ гр.

Визначаємо приблизну площу поверхні зернини кукурудзи, як площу сфери:

$$S_1 = 4\pi R_1^2, \quad (4)$$

де R_1 – радіус сфери приблизної зернини кукурудзи, мм.

Визначаємо приблизну площу поверхні зернини пшениці, яка контактує з озоноповітряною сумішшю, як площу циліндра:

$$S_2 = \pi R_2^2 h, \quad (5)$$

де R_2 – радіус циліндра приблизної зернини пшениці, мм;

h – висота циліндра, мм.

Тоді, площа поверхні тисячі насінин кукурудзи та пшениці $S_1 = 153,86 \cdot 10^{-3}$ м² та $S_2 = 35,32 \cdot 10^{-3}$ м² відповідно.

Введемо показник Δh , що визначає відношення маси m насінини до площі його поверхні S :

$$\Delta h = \frac{m}{S}. \quad (6)$$

З цього випливає, що для кукурудзи $\Delta h_1 = 1,95$ кг/м², а для пшениці $\Delta h_2 = 1,27$ кг/м². Таким чином, на один квадратний метр поверхні зерна кукурудзи припадає 1,95 кг маси зерна, а на одиницю поверхні зерна пшениці дещо менше, тобто через одну і ту ж площу поверхні необхідно обробляти різну масу біологічного матеріалу.

Судячи з усього, відношення показників Δh та доз обробок D , для різних культур повинно бути пропорційним:

$$\delta = \frac{D_1}{D_2} \approx \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{m_1 R_2^2}{m_2 R_1^2}, \quad (7)$$

де m – маса тисячі насінин;
 R – радіус насінини.

Для розглянутих культур співвідношення склало 1,53, оскільки пропорційність зберігається, то можна припустити, що для різних сільськогосподарських культур існує коефіцієнт g , що залежить від Δh та визначає ефективну дозу обробки.

$$g = \frac{\Delta h_0}{\Delta h_x}. \quad (8)$$

Впровадивши єдиний показник Δh_0 рівний $1,0 \text{ кг/м}^2$, визначимо для нього питому дозу обробки $D_0 = 1,27 \text{ мг/кг}$.

Відповідно, для обробки насіння сільськогосподарських культур:

$$D_x = gD_0 = \frac{\Delta h_0}{\Delta h_x} D_0. \quad (9)$$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Хімічний склад зерна різноманітних сільськогосподарських культур відрізняється незначно. З цього слідує, що вплив обробки озоном для різноманітних культур описується загальними параметрами та підпорядковуватися загальним закономірностям.

Отримані залежності дають змогу визначити дозу обробки озоніовітряною сумішшю зернової сировини, яка, наприклад, для 1 кг зерна кукурудзи становить $\approx 0,06 \text{ м}^3$; пшениці – $\approx 0,045 \text{ м}^3$, при цьому доза обробки на 1 кг зерна кукурудзи складає 1,91 мг озону; пшениці – 1,44 мг озону.

Ефективна доза обробки озоніовітряною сумішшю різної зернової сировини залежатиме від її морфологічних особливостей, а саме, від геометричних розмірів самих зернин.

Література

1. Ксенз Н.В., Попандопуло К.Х., Б.Н. Сорокин и др. Энергосберегающая технология сушки зерна. Механизация и электрификация животноводства, растениеводства. 2010. № 2. С. 12-16.
2. Троцкая Т.П. Сушка зерна с помощью озоноздушнoй смеси. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. № 1. С. 36-39.
3. Буряк Л.Ч., Сапач А.Н. Озоновая технология как способ сохранения пищевых продуктов. Вопросы развития современной науки и техники. 2021. С. 42-77.
4. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Герасимов А.А. Особенности процесса и оборудования для сушки зернового сырья с использованием озона. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. № 4. С. 37-45.
5. Bandura V., Kalinichenko R., Kotov B. and oth. Theoretical rationale and identification of heat and mass transfer processes in vibration dryers with ir-energy supply. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 4/8 (94). С. 50-58.
6. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. № 2 (97). С. 99-104.
7. Нормов Д.О. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. Краснодар, 2009. 307 с.

References

1. Ksenz N.V., Popandopulo K.H., B.N. Sorokin i dr. Energoberegayushaya tehnologiya sushki zerna. Mehanizatsiya i elektrifikatsiya zhivotnovodstva, rastenievodstva. 2010. № 2. S. 12-16.
2. Trockaya T.P. Sushka zerna s pomoshyu ozonovozdushnoj smesi. Mehanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo hozyajstva. 1985. № 1. S. 36-39.
3. Buryak L.Ch., Sapach A.N. Ozonovaya tehnologiya kak sposob sohraneniya pishevyyh produktov. Voprosy razvitiya sovremennoj nauki i tehniki. 2021. S. 42-77.
4. Tsurkan O.V., Prysiazhniuk D.V., Herasymov A.A. Osobennosti protsessu y oborudovaniya dlia sushky zernovoho syrya s yspolzovaniem ozona. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. № 4. S. 37-45.
5. Bandura V., Kalinichenko R., Kotov B. and oth. Theoretical rationale and identification of heat and mass transfer processes in vibration dryers with ir-energy supply. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 4/8 (94). С. 50-58.
6. Tsurkan O.V., Pryshliak V.M., Prysiazhniuk D.V. Intensyfikatsiia sushinnia zerna u protsesi yoho pisliazbyralnoi obrobky. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2017. № 2 (97). S. 99-104.
7. Normov D.O. Elektroozonnye tehnologii v semenovodstve i pchelovodstve: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.20.02. Krasnodar, 2009. 307 s.

РІПКА Г. А.

ORCID ID: 0000-0003-0172-867X

e-mail: ripka@snu.edu.ua

МАЗНЕВ Є. О.

ORCID ID: 0000-0001-7952-8980

e-mail: maznev@snu.edu.ua

ТЕЛУШКІНА О. А.

ORCID ID: 0000-0002-3374-0852

e-mail: telushkina@snu.edu.ua

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ЗАСОРНОВА І. О.

ORCID ID: 0000-0001-6655-5023

e-mail: izasornova@gmail.com

Хмельницький національний університет

СПОСІБ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПРАННЯ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТКАНИНИ

В статті розглянуто удосконалений спосіб комплексної оцінки впливу прання в домашніх умовах на фізико-механічні показники текстильних матеріалів, призначених для виготовлення дитячого повсякденного одягу. Встановлено гранично допустимі норми таких показників, як розривальні характеристики до (-15%); коефіцієнт повітропроникності до (-15%); стійкість до стирання по площині до (-30%); товщина до (+20%).

Оцінка зміни фізико-механічних характеристик проб від впливу багаторазового процесу обробки в пральній ванні нової рецептури, наближеної до домашньої, проводилась після кожного циклу прання за допомогою таких інформативних показників, як розривальне зусилля по основі P_0 , (Н) коефіцієнти повітропроникності K_p ($\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$) стійкість проб до стирання по площині C_s (цикли) та його товщина L (мм). Отримані результати свідчать про залежність усіх без винятку показників від кількості циклів прання в мильно-содовому розчині, при чому такі, як розривальні навантаження проб, їх стійкість до стирання по площині та коефіцієнт повітропроникності зменшуються, а товщина збільшується в порівнянні із початковими характеристиками.

Тканину слід вважати стійкою до такої кількості циклів прання в мильно-содовому розчині, яка зумовила зміну хоча б одного з чотирьох критеріїв до указаних гранично допустимих значень.

Ключові слова: прання в домашніх умовах, спосіб, фізико-механічні показники, текстильний матеріал, мильно-содовий розчин.

GALYNA RIPKA, IEVGEN MAZNEV, OLHA TIELUSHKINA,

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

IRYNA ZASORNOVA,

Khmelnytskyi National University, Ukraine

METHOD OF ASSESSING THE INFLUENCE OF WASHING ON PHYSICO-MECHANICAL INDICATORS OF FABRIC

The article considers an improved method of comprehensive assessment of the impact of washing at home on the physical and mechanical properties of textile materials intended for the manufacture of children's casual wear.

In developing the methodological basis for assessing the change in the properties of fabrics from washing, we used the results of our own observations, which allowed us to analyze the operating conditions of preschool children's clothing, activities and characteristic movements of children on playgrounds, identify key factors of destruction of products. features, topography of wear, frequency of cleaning from dirt, method of drying, etc. Thus, it can be argued that the shrinkage of fibrous systems depends on a sufficient number of factors that can affect simultaneously and comprehensively, and therefore this process should be classified as multifactorial and difficult to study, as the evaluation method used today is insufficient informative.

The maximum allowable norms of such indicators as breaking characteristics up to (-15%) have been established; air permeability coefficient up to (-15%); abrasion resistance on the plane up to (-30%); thickness up to (+20%).

The recommended method has been tested experimentally. Evaluation of changes in physical and mechanical characteristics of samples from the impact of repeated processing in the washing bath of a new recipe, close to home, was performed after each wash cycle using informative indicators such as breaking force based on P_0 , (N) air permeability coefficients K_p ($\text{dm}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$) resistance of samples to abrasion in the plane C_s (cycles) and its thickness L (mm). The obtained results show the dependence of all indicators without exception on the number of washing cycles in soap and soda solution, with such as bursting loads of samples, their resistance to abrasion on the plane and air permeability decreases, and thickness increases compared to initial characteristics.

The textile material should be considered resistant to the number of washing cycles in the soap and soda solution, which led to a change in at least one of the four criteria to the specified maximum allowable values.

Keywords: washing at home, method, physical and mechanical properties, textile material, soap and soda solution.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Фізико-механічні характеристики сучасних текстильних матеріалів, призначених для виготовлення дитячого одягу свідчать про те, що до їх волокнистого складу входять бавовняні, віскозні, капронові і лавсанові волокна. Оскільки бавовняні волокна – це представники природної целюлози, віскозні волокна виготовляють із гідратцелюлози, капронові (поліамідні) – це полімер капролактаму, а лавсанові (поліефірні)

– сополімер терефталевої кислоти і етиленгліколю, то очевидно, що при такому різному хімічному складі їх відношення до дії мильно-содового водного розчину буде не однаковим і, насамперед, до води. Так, незважаючи на досить значну кількість гідроксильних груп (ОН), які по своїй природі гідрофільні, бавовняні волокна не розчиняються у воді завдяки наявності в целюлозі водневих та Ван-дер-Ваальсових міжмолекулярних зв'язків, а тому здатні тільки до обмеженого набухання. Якщо волокно занурити у воду, то його поперечний переріз збільшується на 45-50%, а довжина всього на 1-2%. Але при високій вологості (вище 80%) та при нагріванні від 60 до 110°C набухання волокна різко зростає, а його довжина зменшується, що призводить до зсідання [1].

Проведений аналіз свідчить про те, що відношення текстильних матеріалів до впливу води відзначається певними особливостями і залежить від природи волоконотворюючого полімеру. Так, бавовняні і віскозні тканини при обробці гарячою водою різко зменшують міцність, стійкість до стирання, пружну і еластичну деформації, лінійні розміри, що свідчить про зсідання, збільшують набухання тощо. Указані перетворення більш характерні для гідратцелюлози завдяки незначному ступеню полімеризації і послабленню міжмолекулярних сил у макромолекулах.

Синтетичні матеріали, виготовлені із капрону і лавсану, практично стійкі до впливу гарячої води. Але багатократна обробка, яка обумовлює зменшення або повне зникнення їх стабілізації, отриманої в процесі виробництва, приводить до появи залишкових деформацій, змінюючи такі показники тканин, як, наприклад, лінійні розміри, товщину, пористість, набухання тощо.

Згідно класичного поняття, зсідання волокнистих систем – це зміна розмірів швейного виробу або тканин в процесі їх виробництва, збереження, замочування, прання, впливу світла, інсоляції, вологотеплових обробок та інше. Приведений перелік факторів, в основному, відзначається не тільки комплексною, але й одночасною дією, а тому потенціальне зсідання матеріалів не можна передбачити на різних стадіях технологічного процесу і експлуатації. Так, спеціалісти стверджують, що найбільше значення зсідання тканина отримує при її виготовленні та опоряджуванні, оскільки основні та утовкові нитки, розтягуючись, отримують внутрішні напруження (деформації), що перешкоджає про-ходженню їх повної релаксації і створюються додаткові умови для подальшого його збільшення. При цьому, як було відмічено раніше, пружна деформація після зняття навантаження миттєво зникає, а пластична залишається в тканині. А що стосується еластичної деформації, яка вважається повільно зворотною, зникає частково і, при створенні сприятливих умов, знову проявляється, що приводить до зсідання текстильних матеріалів.

Таким чином можна стверджувати, що зсідання волокнистих систем залежить від достатньої кількості факторів, які спроможні впливати одночасно і комплексно, а тому даний процес слід віднести до багатфакторного та такого, який обумовлює труднощі при його дослідженні, оскільки метод оцінки, яким користуються на сьогодні, недостатньо інформативний.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням впливу прання на фізико-механічні характеристики тканин займалися Бузов Б.А., Супрун Н.П., Дейнека І.Г., Мичко А.А. [1, 4, 8]. Відомий спосіб [2] визначення стійкості текстильних матеріалів до впливу прання, до недоліків якого слід віднести відсутність нормативних (або допустимих) границь зміни розривального навантаження проб після обробки мильно-содовим розчином, їх примусове висушування в сушильній шафі з наступним прасуванням, а також необгрунтована необхідна кількість циклів прання, що призводить до отримання некоректних результатів дослідження. Окрім цього слід зазначити, що в процесі прання текстильний матеріал підпадає під дію механічних (50%), фізико-хімічних (30%), хімічних (10%) і температурних (10%) факторів, що впливають одночасно комплексно [3]. Наявність указаних факторів зумовлена тертям виробів між собою та стінками барабану, мильно-содовим розчином, його концентрацією, температурним режимом прання, окислювальними реакціями поверхнево-активних речовин, набуханням і зсіданням матеріалів, повторним пранням тощо, які визивають суттєві зміни їх фізико-механічних властивостей. Отже очевидно, що оцінити стійкість текстильних матеріалів до прання, враховуючи охарактеризовані фактори, за допомогою тільки розривальних навантажень недостатньо, що також є недоліком.

Виклад основного матеріалу

При розробці методологічних основ оцінки зміни властивостей тканин від прання нами були використані й результати власних спостережень, які дали змогу провести аналіз умов експлуатації дитячого одягу дошкільної вікової групи, видів діяльності та характерні рухи дітей на ігрових майданчиках, виявити основні чинники руйнування виробів, охарактеризувати їх конструктивні особливості, топографію зношування, частоту очищення від забруднень, спосіб висушування тощо. Отримані результати свідчать, що для виготовлення даного одягу використовують ткани і трикотажні полотна, що відрізняються за волокнистим складом (природні, штучні, синтетичні), переплетенням тощо. В зв'язку з цим, вивчення впливу багаторазового прання (П) на експлуатаційні властивості було проведено для указаних матеріалів без виключення, а кількість циклів, за рекомендаціями і узгодженням експертів, становила 28. Заміри зміни розривальних навантажень, як критерію оцінки, проводили після першого циклу прання та трьох наступних.

Метою роботи було удосконалення способу оцінки стійкості текстильного матеріалу до прання в мильно-содовому розчині. Поставлена мета була досягнута завдяки тому, що окрім розривальних

навантажень (P_p , Н), одночасно контролюють зміну стійкості проб до стирання по площині (C_c , цикли), коефіцієнта повітропроникності (K_p , $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$) і товщини (L , мм) в порівнянні з їх вихідними значеннями. Обчислення указаних показників у відсотках проводять за наступною узагальненою формулою: $Z = (R - R_1 / R) \cdot 100$, де R – значення показника до прання; R_1 – значення показника після прання. Приведені критерії оцінки стійкості проб текстильних матеріалів до прання в мильно-содовому розчині незалежно від кількості циклів обробки можуть змінюватись від вихідних значень тільки до наступних гранично допустимих норм:

- а) розривальні характеристики до (-15%);
- б) коефіцієнти повітропроникності до (-15%);
- в) стійкість до стирання по площині до (-30%);
- г) товщина до (+20%).

Пробу текстильного матеріалу слід вважати стійкою до прання в мильно-содовому розчині тільки при такій кількості циклів процесу обробки, яка зумовила допустимі зміни одного з контролюючих критеріїв оцінок на указану величину в порівнянні з вихідним значенням.

Для реалізації запропонованого способу, незалежно від волокнистого складу, асортименту текстильних матеріалів побутового призначення, необхідно постійно дотримуватись однакових умов технологічного процесу і режиму прання. В зв'язку з цим нами була розроблена нова рецептура миючої ванни об'ємом 12 літрів води при кімнатній температурі, в одному літрі якої, підігрітої до 70...80 °С, розчиняють 60 грам господарського 60-72% мила і 15 грам кальцинованої соди. Температура миючого мильно-содового розчину повинна постійно знаходитись в межах 38...40°C, а один цикл прання – 30 хв. Після цього зразок матеріалу два рази (по 3...5 хв. кожний) промивають у чистій воді кімнатної температури, віджимають за допомогою центрифуги і висушують до сухого стану звичайним способом в умовах лабораторії без використання електротеплових агрегатів (сушильні шафи, праски тощо).

Підготовлений таким чином зразок матеріалу розміром, наприклад, 1,0...1,5 м² використовують, насамперед, для оцінки зміни показників, що не потребують руйнування тканини, а саме товщини і коефіцієнта повітропроникності, а потім – розривальне навантаження (по основі і утку) та стійкість до стирання по площині. Указані дослідження згідно умов, зазначених в стандартах [2, 3]. Кількість циклів прання одного і того ж зразка в оновленому мильно-содовому розчині може бути багаторазовою, але з обов'язковим контролем значень фізико-механічних характеристик проб після кожної обробки.

Якщо один із чотирьох приведених критеріїв змінить при цьому своє значення на указану величину, то кількість циклів процесу, що його зумовив і є оцінкою стійкості текстильного матеріалу до прання в мильно-содовому розчині.

Рекомендований спосіб перевірено експериментально. Для проведення досліджень нами була обрана тканина із 100% бавовняних волокон по основі і утку, яка використовується при виготовленні дитячого одягу повсякденного призначення, а відтак підлягає частому пранню в домашніх умовах мильно-содовим розчином без поверхнево-активних речовин. Оцінка зміни фізико-механічних характеристик проб від впливу багаторазового процесу обробки в пральній ванні нової рецептури, наближеної до домашньої, проводилась після кожного циклу прання за допомогою таких інформативних показників, як розривальне зусилля по основі P_o , (Н) коефіцієнти повітропроникності K_p ($\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$) стійкість проб до стирання по площині C_c (цикли) та його товщина L (мм).

Отримані результати свідчать про залежність усіх без винятку показників від кількості циклів прання в мильно-содовому розчині, при чому такі, як розривальні навантаження проб, їх стійкість до стирання по площині та коефіцієнт повітропроникності зменшуються, а товщина збільшується в порівнянні із початковими характеристиками (табл. 1).

Так, наприклад, на четвертому циклі прання розривальне зусилля зменшилось від 1325 Н до 1225 Н (-7,5%), коефіцієнт повітропроникності від 10,5 до 9,7 $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ (-7,6%), стійкість до стирання по площині від 1001 циклу до 840 циклів (-16%), а товщина матеріалу збільшилась від 0,87 мм до 1,0 мм (+14,9%). Якщо кількість повторного прання збільшувати, то контролюючі показники суттєво змінюються, особливо товщина (+20,7%), стійкість до стирання по площині (-31,9%) і коефіцієнт повітропроникності (-14,3%), які досягають гранично допустимої величини відповідно на шостому, восьмому та дев'ятому циклах обробки в мильно-содовому розчині.

Що ж стосується розривального навантаження, як критерія оцінки рекомендованого [2], то зміна його гранично допустимого значення (-15,1%) відбулося на 16-му циклі прання. Але при цьому коефіцієнт повітропроникності проб і їх стійкість до стирання по площині зменшились на 31,4 і 42,7% відповідно, а товщина збільшилась до 26,4% в порівнянні з вихідними характеристиками, що не відповідає указаним нормам.

Отже, на основі отриманих результатів можна стверджувати, що для оцінки стійкості текстильних матеріалів до прання в мильно-содовому розчині необхідно використовувати комплекс показників по одному з яких, при досягненні гранично допустимого значення в порівнянні з вихідним, обґрунтовують достатню кількість циклів указанного процесу. Тому, в даному випадку, згідно зазначених умов, текстильний матеріал, що досліджували слід вважати стійким до прання в мильно-содовому розчині після шести циклів обробки, оскільки такий контролюючий показник із чотирьох запропонованих, як його товщина, змінилась, збільшилась до гранично допустимого значення, а саме на (+20,7%).

Зміна фізико-механічних характеристик бавовняної тканини впливу багаторазового прання в мильно-содовому розчині

Кількість циклів прання в мильно-содовому розчині	Значення контролюючих показників проб в залежності від кількості циклів			
	Розривальне навантаження по основі P_0, H ; (%)	Коефіцієнт повітропроникності K_p ($\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$); (%)	Стійкість до стирання по площині S_s , цикли; (%)	Товщина L , мм; (%)
Без прання (вихідне значення)	1325	10,5	1001	0,87
Перший цикл	1260 (-4,9)	9,7 (-7,6)	865 (-13,6)	0,90 (+3,4)
Другий цикл	1250 (-5,7)	9,7 (-7,6)	855 (-14,7)	0,95 (+9,2)
Третій цикл	1240 (-6,4)	9,7 (-7,6)	845 (-15,6)	0,98 (+12,6)
Четвертий цикл	1225 (-7,5)	9,7 (-7,6)	840 (-16,0)	1,0 (+14,9)
П'ятий цикл	1218 (-8,1)	9,7 (-7,6)	790 (-21,1)	1,04 (+19,5)
Шостий цикл	1207 (-8,9)	9,4 (-10,5)	745 (-25,6)	1,05 (+20,7)
Сьомий цикл	1195 (-9,8)	9,4 (-10,5)	715 (-28,6)	1,07 (+23,0)
Восьмий цикл	1191 (10,1)	9,1 (-13,3)	681 (-31,9)	1,08 (+24,1)
Дев'ятий цикл	1191 (10,1)	9,0 (-14,3)	659 (-34,2)	1,09 (+25,3)
Десятий цикл	1191 (10,1)	8,7 (-17,1)	647,5 (-35,3)	1,1 (+26,4)
Тринадцятий цикл	1145 (-13,6)	7,8 (-25,7)	600 (-40,0)	1,1 (+26,4)
Шістнадцятий цикл	1125 (-15,1)	7,2 (-31,4)	573,8 (-42,7)	1,1 (+26,4)

1) Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

- 2) Удосконалено режим прання текстильних матеріалів та розроблена рецептура мильно-содового розчину, які максимально наближені до проведення процесу прання в домашніх умовах.
- 3) Стійкість проб текстильних матеріалів до прання в мильно-содовому розчині оцінюється такими критеріями, як розривальні характеристики, коефіцієнт повітропроникності, стійкість до стирання по площині і товщина.
- 4) Встановлено залежність між кількістю циклів прання та зміною значень указаних показників в порівнянні з їх вихідними величинами.
- 5) Встановлено гранично допустимі зміни значень зазначених критеріїв оцінки, при яких текстильний матеріал слід вважати стійким до прання в мильно-содовому розчині.
- 6) Тканину слід вважати стійкою до такої кількості циклів прання в мильно-содовому розчині, яка зумовила зміну хоча б одного з чотирьох критеріїв до указаних гранично допустимих значень.

Література

1. Deyneka I. Identification of vegetable origin fibers for children's clothes / I. Deyneka, A. Mychko // Commission of motorization and power industry in agriculture. Teka / Lublin university of technology. – Lublin, 2012. Vol. 12. № 3. – P. 15-18. ISSN 1641-7739.
2. Полотна текстильные. Методы определения изменения размеров после мокрых обработок или химической чистки. Общие положения: ГОСТ 30157.0-95 (ИСО 3759-94, ИСО 7771-85). – [Действующий с 2002-01-01]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1995. – 8 с. (Межгосударственный стандарт).
3. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении: ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82). – [Действующий с 1973-01-01]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 20 с. (Межгосударственный стандарт).
4. Супрун Н.П. Основні аспекти розробки сучасного шпитального одягу / Н. Супрун // Вісник КНУТД, 2017, № 4(112). С. 124-129. ISSN 1813-6796.
5. Патент 119786 України, МПК (2006.01) G01N 33/36. Спосіб оцінки стійкості текстильних матеріалів до прання в мильно-содовому розчині / Ріпка Г.А., Хрипко Є.А., Резнік К.М.; заявник і патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля № u2017 03360; заявл. 07.04.2017; опубл. 10.10.2017. бюл. № 19, 4 с.
6. Ripka G. Analysis of everyday clothes usage conditions // Commission of motorization and energetics in agriculture. Teka / Lublin university of technology. – Lublin, 2017. Vol. 17. № 1. – P. 21-26. ISSN 1641-7739.
7. Kolosnichenko O. Study of dominant quality indicators of materials and designs of railroad conductors' uniforms / Olena Kolosnichenko, Mykola Yakovlev, Irina Prykhodko-Kononenko, Larysa Tretyakova, Natalia Ostapenko, Kalina Pashkevich, Galyna Ripka // Fibres and textiles, Bratislava, 3 (2020), Volume 27, September 2020., p. 90-96. ISSN 2585-8890.

8. Fu M., Weng W.G., Yuan H.Y.: Quantitative assessment of the relationship between radiant heat exposure and protective performance of multilayer thermal protective clothing during dry and wet conditions, *Journal of Hazardous Materials* 276, 2014, pp. 383-392, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.056>.

References

1. Deyneka I. Identification of vegetable origin fibers for children's clothes / I. Deyneka, A. Mychko // Commission of motorization and power industry in agriculture. *Teka / Lublin university of technology*. – Lublin, 2012. Vol. 12. № 3. – P. 15-18. ISSN 1641-7739.
2. Polotna tekstil'nyye. Metody opredeleniya izmeneniya razmerov posle mokrykh obrabotok ili khimicheskoy chistki. Obshchiye polozeniya: GOST 30157.0-95 (ISO 3759-94, ISO 7771-85). – [Deystvuyushchiy s 2002-01-01]. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1995. – 8 s. (Mezhgosudarstvennyy standart).
3. Materialy tekstil'nyye. Tkani i shtuchnyye izdeliya. Metody opredeleniya razryvnykh kharakteristik pri rastyazhenii: GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82). – [Deystvuyushchiy s 1973-01-01]. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002. – 20 s. (Mezhgosudarstvennyy standart).
4. Suprun N.P. Osnovni aspekty rozrobky suchasnoho shpytal'noho odyahu / N. Suprun // *Visnyk KNUTD*, 2017, № 4(112). S. 124-129. ISSN 1813-6796.
5. Patent 119786 Ukrainy, MPK (2006.01) G01N 33/36. Sposib otsinky stiykosti tekstyl'nykh materialiv do prannya v myl'no-sodovomu rozchyni / Ripka H.A., Khrypko YE.A., Ryeznic K.M.; zayavnyk i patentovlasnyk Skhidnoukrayins'kyy natsional'nyy universytet imeni Volodymyra Dalya № u2017 03360; zayavl. 07.04.2017; opubl. 10.10.2017. byul. № 19, 4 s.
6. Ripka G. Analysis of everyday clothes usage conditions // Commission of motorization and energetics in agriculture. *Teka / Lublin university of technology*. – Lublin, 2017. Vol. 17. № 1. – P. 21-26. ISSN 1641-7739.
7. Kolosnichenko O. Study of dominant quality indicators of materials and designs of railroad conductors' uniforms / Olena Kolosnichenko, Mykola Yakovlev, Irina Prykhodko-Kononenko, Larysa Tretyakova, Natalia Ostapenko, Kalina Pashkevich, Galyna Ripka // *Fibres and textiles*, Bratislava, 3 (2020), Volume 27, September 2020, P. 90-96. ISSN 2585-8890.
8. Fu M., Weng W.G., Yuan H.Y.: Quantitative assessment of the relationship between radiant heat exposure and protective performance of multilayer thermal protective clothing during dry and wet conditions, *Journal of Hazardous Materials* 276, 2014, pp. 383-392, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.056>.

Рецензія/Peer review : 19.01.2022 р.

Надрукована/Printed :28.02.2022 р.

САРАНА О. М.

ORCID ID: 0000-0003-1898-8283

e-mail: sarana@snu.edu.ua

МАЗНЄВ Є. О.

ORCID ID: 0000-0001-7952-8980

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ЗАСОРНОВ О. С.

ORCID ID: 0000-0002-9387-6997

e-mail: azasornov@gmail.com

Хмельницький національний університет

ВОРОБІЙОВ О. В.

ORCID ID: 0000-0002-6546-4434

e-mail: vorobjov_o@snu.edu.ua

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ ДЛЯ МОТОЦИКЛІСТІВ-АМАТОРІВ

Стаття присвячена розробці спеціального захисного костюму для мотоциклістів-аматорів. В результаті аналізу умов експлуатації спортивного одягу мотоциклістів визначені найбільш негативні фактори навколишнього середовища, які впливають на тіло водія – це швидкість вітру від 0 до 60 км/год, можливі атмосферні опади у вигляді дощу, не виключені удари тупих предметів у разі падіння. Одяг мотоциклістів-аматорів повинен забезпечувати захист тіла від впливу зазначених негативних чинників, зручність у користуванні, комфортність у стані спокою та при інтенсивних рухах.

Характерною особливістю умов експлуатації спортивного одягу для мотоциклістів є те, що людина майже весь час знаходиться у позі сидіння на мотоциклі. В роботі використана методика безконтактного оптичного визначення основних поз та характерних рухів мотоциклістів-аматорів.

Ключові слова: мотоциклісти-аматори, спецодяг, спортивний костюм, умови експлуатації, пози та рухи, коефіцієнт повітропроникності.

OLEKSANDR SARANA, IEVGEN MAZNIEV,

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

ALEXANDER ZASORNOV,

Khmelnytskyi National University, Ukraine

OLEKSANDR VOROBIOV,

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

PECULIARITIES OF DESIGN OF SPECIAL CLOTHING FOR AMATEUR MOTORCYCLISTS

The article is devoted to the development of a special protective suit for amateur motorcyclists. As a result of the analysis of the operating conditions of motorcyclists' sportswear, the most negative environmental factors affecting the driver's body are identified - wind speeds from 0 to 60 km/h, possible precipitation in the form of rain, blunt objects in case of fall. Clothing for amateur motorcyclists should protect the body from the effects of these negative factors, ease of use, comfort at rest and during intense movements.

A characteristic feature of the operating conditions of sportswear for motorcyclists is that a person is almost always in a sitting position on a motorcycle. The method of non-contact optical determination of the main poses and characteristic movements of amateur motorcyclists is used in the work.

To ensure a given level of ergonomic fit of the motorcyclist's suit, it is proposed to use the following characteristics: the range of arms of the dressed person; resistance to accuracy and speed of movements; moving areas of clothing relative to the body when moving; tensile deformation of materials in parts, lack of free folds; horizontality of the bottom of the product, the correct position of the sleeve.

The "thread method" was chosen to assess the ergonomic conformity of the clothing design. Using this method allows you to measure the amount of movement of individual parts of clothing and stretch material in garments and assess the dynamic compliance of clothing.

To determine the air permeability of materials, it is proposed to use the calculation method, which involves determining the coefficient of air permeability by the nature of the weave, the number of threads on the warp and weft and the raw material composition. The areas of location of windproof and shockproof pads are determined.

By setting the frequency of occurrence of structural elements and articulations of costumes of professional motorcyclists, the suit model is finally determined: jacket with a stand-up collar, a central zipper and a sewn-on strap, with reliefs; pants on a belt and with a relief. The design of the suit of amateur motorcyclists (sports jacket and pants) was built according to the method of "Mueller and Son". Further modeling of reliefs, yokes, cuffs and other structural elements was performed.

Keywords: amateur motorcyclists, overalls, tracksuit, operating conditions, postures and movements, air permeability

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день в продажу є велика кількість мотоциклів, та моторолерів. Це відносно недорогі транспортні засоби для тих, хто не має змоги купити автомобіль, не потребує цього або веде такий спосіб життя, який потребує використання саме такого засіб пересування. Користування мотоциклом або моторолером потребує використання спеціального одягу. Натомість костюми для мотоциклістів-аматорів в магазинах практично не продають. На дорозі можна зустріти мотоцикліста, який одягнений в те, що зміг

знайти дома або в магазині чи на ринку. Поїздки на мотоциклах потребують дотримання норм безпеки, крім того, під час їзди тіло мотоцикліста підлягає впливу негативних явищ навколишнього середовища (сонячні промені, вітер, дощ, тощо). Недотримання таких норм призводить до захворювань, в тому числі й простудних, отримання травм, втрати здоров'я, а інколи й до більш трагічних наслідків.

В світі накопичений великий досвід створення різних видів захисного одягу. Зокрема для мотоциклістів–професіоналів розроблені спеціальні костюми, які достатньо захищають їх від небезпечних факторів під час поїздки на мотоциклі. На сьогодні, в нашій країні такі види спецодягу не розроблені, виробництво не налагоджено [1]. Що ж стосується підприємств легкої промисловості то, через складні економічні умови в державі не приділяли достатньої уваги проектуванню та виготовленню костюму для мотоциклістів-аматорів. Натомість створення такого костюму вимагає спеціальних досліджень, щоб створити відносно недорогий та якісний одяг, який би задовольняв усі необхідні вимоги щодо його конкурентоздатності.

Таким чином є необхідність у створенні спеціального одягу для мотоциклістів-аматорів, які буде лише користуватися попитом, бути ергономічним, комфортним, з сучасним дизайном, але й допоможе зберегти здоров'я не одній молодій працездатній людині України, яка веде активний спосіб життя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемами розробки спеціального одягу займаються М.В. Колосніченко, В.О. Привала, Г.А. Ріпка, В.І. Очкурєнко [2-5] тощо.

Методичні рекомендації по вивченню умов праці при проектуванні одягу спеціального призначення детально викладені у роботі [6]. Враховуючи умови їзди на мотоциклі, дані рекомендації взято за основу при визначенні необхідних питань для аналізу умов експлуатації одягу даного виду, а саме: визначення негативних факторів навколишнього середовища, що виникають в процесі експлуатації мотоциклів; вивчення впливу комплексу негативних факторів на організм мотоцикліста; аналіз рухів, визначення рівня фізичного навантаження та величини енерговитрат мотоциклістів. Невизначеними залишаються ергономічні, показники комфортності та захист найбільш вразливих частин тіла мотоцикліста під час їзди.

Також, характерною особливістю умов експлуатації спортивного одягу для мотоциклістів є те, що людина майже весь час знаходиться у позі сидіння на мотоциклі. Згідно літератури [7] енерговитрати можливо поділити на три ступеня: легкий ($40-70 \text{ Вт/м}^2$), середній ($71-150 \text{ Вт/м}^2$), важкий ($151-510 \text{ Вт/м}^2$).

Експлуатація спортивного одягу мотоциклістів передбачає виконання різних за характером рухів та поз. Це залежить від самої конструкції мотоцикла чи скутера. Оскільки кут нахилу колонки керма коливається межах від 23 до 30° , то кут нахилу торса мотоцикліста може також змінюватись в зазначених межах, також багато, що залежить від висоти сидіння мотоциклу (від 906 до 750 мм), таким чином, чим вище сидіння, тим сильніше корпус людини нахилений до керма [8]. Отже, найбільш характерною позою є сидіння. Проте не вивченими залишаються такі характерні рухи, які виконує мотоцикліст при поворотах, адже під час їх виконання він отримує навантаження більше, ніж при простому сидінні.

Проектування сучасного спеціального надійного одягу для мотоциклістів-аматорів – це складне завдання, яке зумовлене низкою негативних факторів, які впливають на тіло мотоцикліста під час їзди, дотого ж одяг повинен відповідати ряду вимог, таких, як захист тіла від впливу зазначених негативних чинників, зручність у користуванні, комфортність у стані спокою та при інтенсивних рухах тощо, а тому потребує комплексного дослідження.

Виклад основного матеріалу

Основними негативними факторами навколишнього середовища, які впливають на тіло мотоцикліста є коливання температур, від 13 до 25°C при швидкості руху від 0 до 60 км/год та відносній вологості повітря від 30 до 90% , атмосферні опади, удари у разі падіння. З дослідження було встановлено, що під травматичні дії найчастіше підпадають плечі, коліна та лікті (суглоби).

Одяг мотоцикліста-аматора, зазвичай це куртка і штани, повинен забезпечити захист тіла від впливу негативних чинників, зручність у користуванні та комфортність. Одяг має представляти собою багат шаровий пакет, який складається з матеріалу верху, вітрозахисного шару і підкладки. Як матеріали верху, можливо використовувати плащові тканини або вітрозахисні, з невеликою поверхневою густиною, але такі, що мають значне поверхнєве заповнення і низький коефіцієнт повітропроникливості (менше $20 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$).

Куртка зазвичай прямого силуету, штани прилеглого. Рукави куртки - вшивні, реглан, або ж вшивні, які імітують реглан. Куртки мають горизонтальні, вертикальні та нахилені конструктивні членування. Застібка на тасьму-блискавку або з планкою на кнопки. Комір – стійка або на текстильну застібку чи кнопки. Кишені – накладні, в рамку, в шві. Використовують декоративні елементи: хлястики, вставки, нашивки, тощо. Існуючі моделі костюмів мотоциклістів-професіоналів були використані як прототипи і взяті за основу для розробки костюмів мотоциклістів-аматорів [8].

Робота присвячена розробці конструкції одягу для мотоциклістів-аматорів та вибору пакету матеріалів, що могли б забезпечити достатні захисні та ергономічні властивості одягу даного виду.

В зв'язку з великою кількістю і складністю задач дослідження розроблено інформаційну модель, яка надає цілісне уявлення про етапи процесу розробки конструкції та технології виготовлення одягу

мотоциклістів-аматорів та визначає порядок досліджень. Вихідною інформацією були умови експлуатації одягу. Надалі вирішували комплекс питань: розробка вимог, які будуть забезпечувати надійність; визначення комплектності одягу та його конструктивні рішення; склад пакету матеріалів; розробка конструкції виробу, виконання його макету; дослідження макету на предмет визначення рівня статичної і динамічної відповідності; розробка рекомендацій щодо виготовлення костюма мотоцикліста-аматора.

В роботі використана методика безконтактного оптичного визначення основних поз та характерних рухів мотоциклістів-аматорів. Методика полягає в тому, що за допомогою знімальної відео - або фотоапаратури знімають процес руху мотоциклістів. Надалі, з отриманих фотографій, вибирають такі, що відповідають характерним позам мотоцикліста. Фотографії приводять до одного розміру. Після чого на них відмічають антропометричні точки. При цьому тіло мотоцикліста розглядають як багатоланкову систему, ланки якої з'єднані кульковими шарнірами (рис. 1).



Рис. 1. Характерна поза мотоцикліста (під час повороту) з визначеними антропометричними точками

Для забезпечення заданого рівня ергономічної відповідності костюму мотоцикліста запропоновано використовувати такі характеристики: розмах рук одягненої людини; опір точності та швидкості рухів; переміщення ділянок одягу відносно тіла при русі; деформацію розтягу матеріалів в деталях, відсутність вільних складок; горизонтальність низу виробу, правильність положення рукава.

Для оцінки ергономічної відповідності конструкції одягу вибраний «метод нитки». Використання цього методу дозволяє виміряти величину переміщення окремих ділянок деталей одягу і розтягу матеріалу в швейних виробах і оцінити динамічну відповідність одягу. Для проведення експерименту обирають пози та рухи, які є характерними для мотоциклістів-аматорів. Початковою позою для проведення досліджень за допомогою «методу нитки» обрана поза стоячи в стані спокою, а далі виміри проводяться при виконанні характерних поз мотоцикліста.

Для визначення повітропроникності матеріалів запропоновано використати розрахунковий спосіб, який передбачає визначити коефіцієнт повітропроникності за характером переплетення, кількістю ниток по основі та утоку та сировинним складом матеріалу. Загальна повітропроникність багат шарового пакету матеріалів костюму розраховують за формулою Клейтона [6].




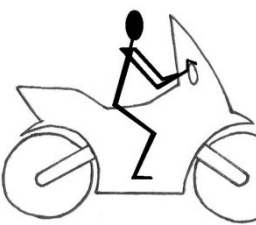


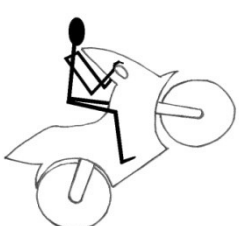

Умови експлуатації одягу мотоциклістів вміщують пози та рухи, які вони виконують під час їзди. Для їх визначення використано оптичний безконтактний спосіб (табл. 1).

З таблиці 1 видно, що амплітуда та інтенсивність рухів мотоциклістів не дуже висока, проте найбільше відрізняється поза 3, максимальний кут розхилу ніг якої становить біля 90°. Хоча рухи мотоциклістів-аматорів не дуже різноманітні, проте ряд розмірних ознак (ширина спини, довжина спини до талії, відстань від лінії талії до площини сидіння, відстань від лінії талії до коліна та ін.) мають значні параметри, таким чином на таких ділянках виникає найбільше напруження тканини.

Ділянка середньої та нижньої частини пройми при таких рухах та позах отримують досить велике навантаження, тому динамічний приріст до розмірної ознаки «ширина спини» необхідно врахувати повністю, тобто приймати його максимальну величину.

Таблиця 1

Характерні рухи та пози мотоциклістів

Поза 1.		Поза 2	
	Положення сидячи, корпус нахилений вперед		Положення сидячи, корпус – вертикальний
Поза 3		Поза 4	
	Сідання на мотоцикл. Корпус нахилений вперед, руки зігнуті, одна нога піднята		Положення сидячи, корпус нахилений
Поза 5.		Поза 6.	
	Їзда в повороті. Положення сидячи, корпус нахилений вбік, одна рука зігнута, інша - відвед. вбік, одне стегно в тазовому суглобі - під кутом 90°, гомілка з стегном під кутом		Утримання мотоциклу.
Поза 7.		Поза 8.	
	Руки зігнуті в ліктьовому суглобі під кутом 90°, стегно зігнуте в тазовому суглобі під кутом 90°, гомілка з стегном під кутом більш ніж 100°		Положення стоячи під час руху

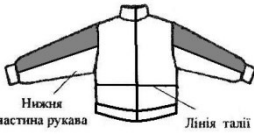

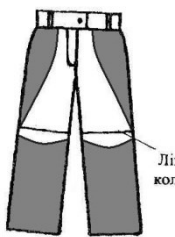



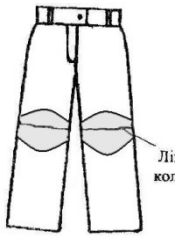
Припуск на свободу руху до розмірної ознаки «довжина талії переду» також повинен прийматись повністю, це стосується і таких розмірних ознак, як «довжина талії спинки», «відстань від талії до сідничної складки», «ширина спини» [7]. Аналіз рухів мотоциклістів-аматорів дозволяє виділити декілька найбільш характерних поз для мотоциклістів-аматорів та необхідні виміри їх фігури для визначення прибавок на вільне облягання. Тому доцільно буде вибрати пози під номерами 1, 3, 5 та 7.


Встановлено, що одяг мотоцикліста-аматора має представляти собою костюм, що складається з куртки і штанів. Запропоновано моделі костюмів: куртка прямого силуету, з коміром стійкою та манжетами по низу рукавів та куртки. Штани прилеглого силуету, на поясі і також з вертикальними, горизонтальними та нахиленими членуваннями. Колористичне рішення костюму: куртка і штани комбінованого кольору – чорний колір (біля 70%, як в штанах так і в куртці) з білим, чи сірим, синім або з блакитним.

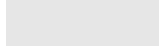
Типографію розташування вітрозахисних та ударопоглинаючих накладок зображено в табл. 2.

У куртці вітрозахисна прокладка розташована в верхній частині рукава, що є достатнім захистом від переохолодження рук, так як під час їзди на мотоциклі дана ділянка підлягає сильному впливу вітру. Відсутність прокладки на плічці та спинці можна пояснити тим, що захисне скло на кермі є достатньою перешкодою для вітру. Що ж до спинки, то вона мало підлягає його впливу. У штанах довжина прокладок закінчується по лінії коліна, а вона сама розташована в області стегна а інша вітрозахисна прокладка розташована на передній половинці штанів від лінії коліна до лінії низу, так як дані ділянки підлягає найбільшому впливу вітру.

Зони розташування вітрозахисних та протиударних накладок

Назва виробу	Зображення виробу	
	Вигляд спереду	Вигляд ззаду
Розташування вітрозахисних накладок		
Куртка		
Штани		
Розташування ударопоглинаючих накладок		
Куртка		
Штани		—

Примітки:  - зони розташування вітрозахисних накладки;

 - зони розташування ударопоглинаючих накладок.

Конструкція виробів дозволяє розташувати прокладки на місці знаходження рельєфів рукавів та штанів. Їх пришивають разом з рельєфами до основних деталей, що забезпечує міцність приєднання вітрозахисної прокладки до костюма.

Місце розташування ударопоглинаючих накладок пояснюється тим, що при падінні і ударі об поверхню найбільш страждають такі ділянки, як лікті, коліна та плечі.

В якості матеріалу верху костюму мотоциклістів-аматорів рекомендовано тканину плащової групи арт.52278 (коефіцієнт повітропроникності складає $38 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$). Ділянки тіла, які підпадають під більший вплив вітру ніж інші (верхня частина руки, стегна та ділянка, яка розташована від лінії коліна до гомілки) захищені додатковим шаром. Повітропроникливість пакету на цих ділянках не перевищує $20 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Для запобігання травм при ударах чи падінні, плечі, коліна та лікті захищені від пошкоджень спеціальними захисними накладками (наплічники, наколінники, налокітники), виконаними зі спіненого поліуретану, який має ударопоглинаючі властивості. Як з'єднувальні матеріали вибрані комплексні синтетичні нитки, для застібки рекомендовано тасьму-блискавку та кнопки.

Встановлено зміну лінійних розмірів деталей і ділянок макетів куртки і штанів в залежності від рухів і поз мотоцикліста. Значній зміні лінійних розмірів деталей підлягають: спинка (ширина збільшується на 2,1 см, довжина на 2,9 см); рукава (довжина збільшується на 1,3 см); задне та передне полотнище штанів (довжина від талії до коліна збільшується на 3,1 см, обхват талії – 2,7 см, стегон 2,6 см) (176-100-88).

При побудові конструкції костюма, для забезпечення відповідності виробу фігурі, величини прибавок на вільне облягання дорівнюють найбільшому значенню величини зміни лінійних розмірів деталей

макета. Так як, характерною позою для мотоцикліста-аматора є поза сидячи з зігнутими колінами, тому в області коліна проєктують виточки для отримання опуклості. Також, за допомогою встановлення частоти зустрічності конструктивних елементів та членувань костюмів мотоциклістів-професіоналів остаточно визначена модель костюму: куртка з коміром-стійкою, центральною застібкою на тасьму-блискавку та пришивною планкою, з рельєфами; штани на поясі і з рельєфами.

Особливості технології виготовлення костюму полягають в тому, що протиударні накладки приєднують до костюму за допомогою спеціальних вкладок. Вкладки фіксують вшиваючи їх одночасно з зшиванням зрізів основних деталей.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Отже, в ході дослідження встановлено, що основними негативними факторами навколишнього середовища, які впливають на тіло мотоцикліста є коливання температур, яке може становити від 13 до 25 °С при швидкості руху 0...60 км/год та відносній вологості повітря 30...90 %, можливі атмосферні опади; не виключені удари (у разі падіння). Під травматичні дії найчастіше підпадають плечі, коліна та лікті (суглоби).

2. Одяг мотоцикліста-аматора повинен забезпечити захист тіла від дії негативних чинників, ергономічність у користуванні. Одяг має представляти собою багатошарові пакети, які мають складатись з матеріалів верху, додаткового вітрозахисного шару, ударозахисних накладок і підкладки.

3. В роботі використана методика безконтактного оптичного визначення основних поз та характерних рухів мотоциклістів-аматорів. Методика полягає в тому, що за допомогою відео - або фотоапаратури знімають процес руху мотоциклістів. Фотографії приводять до одного розміру. Після чого на них відмічають антропометричні точки і їх переміщення. При цьому тіло мотоцикліста розглядають як багатоланкову систему, ланки якої з'єднані кульковими шарнірами. Встановлено основні пози, в яких характерні антропометричні точки тіла мотоцикліста займають положення, що максимально відрізняється від природного. Такими позами є: положення сидячи на мотоциклі; сідання на мотоцикл; здійснення крутих поворотів.

4. Використання «методу нитки» дозволило виміряти величини переміщення окремих ділянок деталей одягу і розтягу матеріалу в швейних виробках і оцінити динамічну відповідність одягу. Встановлена зміна лінійних розмірів деталей і ділянок макетів куртки і штанів в залежності від рухів і поз мотоцикліста. Значній зміні лінійних розмірів деталей підлягають: спинка (ширина збільшується на 2,1 см, довжина – на 2,9 см); рукава (довжина збільшується на 1,3 см); заднє та переднє полотнище штанів (довжина від талії до коліна збільшується на 3,1 см, обхват талії – 2,7 см, стегон 2,6 см). При побудові конструкції костюма, для забезпечення відповідності виробу фігурі обрані величини прибавок на вільне облягання дорівнюють найбільшому значенню величини зміни лінійних розмірів деталей макету.

5. Для визначення повітропроникності матеріалів запропоновано використати розрахунковий спосіб, який передбачає визначити коефіцієнт повітропроникності за характером переплетення, кількістю ниток по основі та утоку та сировинним складом матеріалу. Загальна повітропроникність багатошарового пакету матеріалів костюму розрахована за формулою Клейтона.

6. В якості матеріалу верху костюму мотоциклістів-аматорів рекомендована тканина плащової групи арт.52278 Ділянки тіла, які підпадають під більший вплив вітру ніж інші (верхня частина руки, стегна та ділянка яка розташована від лінії коліна до гомілки) захищені додатковим шаром. Для запобігання травм при ударах чи падінні плечі, коліна та лікті захищені від пошкоджень спеціальними захисними накладками (наплічники, наколінники, налокітники), виконаними з спіненого поліуретану, який має ударопоглинаючі властивості. В якості з'єднувальних матеріалів рекомендовано комплексні синтетичні нитки, для застібки – тасьму-блискавку та кнопки.

7. За допомогою встановлення частоти зустрічності конструктивних елементів та членувань костюмів мотоциклістів-професіоналів остаточно визначена модель костюму: куртка з коміром-стійкою, центральною застібкою на тасьму блискавку та пришивною планкою, з рельєфами; штани на поясі і з рельєфами. Конструкцію костюму мотоциклістів-аматорів (спортивної куртки та штанів) побудовано за методикою «Мюллер та син».

8. Особливості технології виготовлення костюму полягають в тому, що захисні накладки приєднують до костюму за допомогою спеціальних вкладок. Вкладки фіксують, вшиваючи їх одночасно з зшиванням зрізів основних деталей. Запропонована модель костюмів мотоциклістів рекомендована для впровадження у виробництво.

Література

1. Коновал В.В. Аналіз стану легкої промисловості в умовах трансформаційної економіки України [Електронний ресурс] / В.В. Коновал. – Режим доступу: <http://ppeu.stu.cn.ua/index.pl?task=arcls&id>.
2. Колосніченко М.В. Розвиток наукових основ створення термозахисного спеціального одягу: автореф. дис ... д-ра. техн. наук: 05.19.04. / М.В. Колосніченко. – К., 2004. – 37 с.
3. Zasornov A. Experimental investigation of multilayer thermal insulation material performance with using of discrete heat transfer model / A. Zasornov, I. Zasornova, I Marynchenko (викладач з іншого ВНЗ) //

Vlakna & Textil. Indexed in SCOPUS Chemical Abstracts World Textiles. Volume 27. - №4. - 2020. - P. 138-144. ISSN 1335-0617 print version. ISSN 2585-8890 online version.

4. Привала В.О. Розробка технології формування пакетів матеріалів одягу з визначеними водо- і вітрозахисними властивостями: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.19.04 / В.О. Привала. – Хм., 2007 – 20 с.

5. Ріпка Г.А. Удосконалення технології виготовлення підсилюючих елементів дитячого одягу: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.19 / Ріпка Г.А. – К., 2016. – 20 с.

6. Бузов Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова; под ред. Б.А. Бузова. – М.: «Академия», 2004. – 448 с.

7. Kuleshova S., Zakharkevich O., Koshevko J., Ditkovska O.: Development of expert system based on kansei engineering to support clothing design process, *Vlakna a textile (Fibres and Textiles)* 24(3), 2017, pp. 30-42.

8. «Мото», журнал за редакт. М. Юрченко. – М.: ООО «Издательство «За рулем»», № 02 (173)/2007, 41 с.

9. Chuprina N.V., Krotova T.F., Pashkevich K.L., Kara-Vasylieva T.V., Kolosnichenko M.V.: Formation of fashion system in the XX - the beginning of the XXI century, *Vlakna a textile (Fibres and Textiles)* 27(4), 2020, pp. 48-57.

10. Ripka G. Study of dominant quality indicators of materials and designs of railroad conductors' uniforms / Olena Kolosnichenko, Mykola Yakovlev, Irina Prykhodko-Kononenko, Larysa Tretyakova, Natalia Ostapenko, Kalina Pashkevich, Galyna Ripka // *Fibres and textiles*, Bratislava, 3 (2020), Volume 27, September 2020., p. 90-96. ISSN 2585-8890.

11. Danko G.L.: *Model Elements and Network Solutions of Heat, Mass and Momentum Transport Processes*, Springer-Verlag, 2017, 251 p., DOI:10.1007/978-3- 662-52931-7, ISBN: 978-3-662-52929-4.

References

1. Konoval V.V. Analiz stanu lehkoyi promyslovosti v umovakh transformatsiyanoi ekonomiky Ukrayiny [Elektronnyy resurs] / V.V. Konoval. – Rezhym dostupu: <http://ppeu.stu.cn.ua/index.pl?task=arcls&id>.

2. Kolosnichenko M.V. Rozvytok naukovykh osnov stvorenniya termozakhysnoho spetsial'noho odyahu: avtoref. dys ... d-ra. tekhn. nauk: 05.19.04. / M.V. Kolosnichenko. – К., 2004. – 37 s.

3. Zasornov A. Experimental investigation of multilayer thermal insulation material performance with using of discrete heat transfer model / A. Zasornov, I. Zasornova, I Marynchenko (викладач з іншого ВНЗ) // *Vlakna & Textil. Indexed in SCOPUS Chemical Abstracts World Textiles. Volume 27. - №4. - 2020. - P. 138-144. ISSN 1335-0617 print version. ISSN 2585-8890 online version.*

4. Pryvala V.O. Rozrobka tekhnolohiyi formuvannya paketiv materialiv odyahu z vyznachenymy vodo- i vitrozakhysnymy vlastyvostyamy: avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.19.04 / V.O. Pryvala. – Khm., 2007 – 20 с.

5. Ripka H.A. Udskonalennya tekhnolohiyi vyhotovlennya pidsylyuyuchykh elementiv dytyachoho odyahu: avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.18.19 / Ripka H.A. – К., 2016. – 20 с.

6. Buzov B.A. Materialovedeniye v proizvodstve izdeliy legkoy promyshlennosti (shveynoye proizvodstvo): uchebnyk dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / B.A. Buzov, N.D. Alymenkova; pod red. B.A. Buzova. – М.: «Akademiya», 2004. – 448 s.

7. Kuleshova S., Zakharkevich O., Koshevko J., Ditkovska O.: Development of expert system based on kansei engineering to support clothing design process, *Vlakna a textile (Fibres and Textiles)* 24(3), 2017, pp. 30-42.

8. «Мото», zhurnal za redakt. M. Yurchenko. – М.: ООО «Izdatel'stvo «Za rulem»», № 02 (173)/2007, 41 s.

9. Chuprina N.V., Krotova T.F., Pashkevich K.L., Kara-Vasylieva T.V., Kolosnichenko M.V.: Formation of fashion system in the XX - the beginning of the XXI century, *Vlakna a textile (Fibres and Textiles)* 27(4), 2020, pp. 48-57.

10. Ripka G. Study of dominant quality indicators of materials and designs of railroad conductors' uniforms / Olena Kolosnichenko, Mykola Yakovlev, Irina Prykhodko-Kononenko, Larysa Tretyakova, Natalia Ostapenko, Kalina Pashkevich, Galyna Ripka // *Fibres and textiles*, Bratislava, 3 (2020), Volume 27, September 2020., p. 90-96. ISSN 2585-8890.

11. Danko G.L.: *Model Elements and Network Solutions of Heat, Mass and Momentum Transport Processes*, Springer-Verlag, 2017, 251 p., DOI:10.1007/978-3- 662-52931-7, ISBN: 978-3-662-52929-4.

Рецензія/Peer review : 09.01.2022 р.

Надрукована/Printed :28.02.2022 р.

ЦУРКАН О. В.

ORCID ID: 0000-0002-7218-0026

e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net

Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ВИСОКОВОЛОГОГО НАСІННЯ БАШТАНИХ КУЛЬТУР

В статті запропоновано принципово нову концепцію енергоощадного сушіння високовологих насінневих матеріалів, зокрема насіння гарбузів, процес сушіння яких через специфічні морфологічні, теплофізичні, підвищені когезивно-адгезивні властивості, наявності в шарі насіння залишків поверхневої плівки та плоду найбільш енергоємний.

Ключові слова: баштанні культури, гарбузи, високовологе насіння, вібраційні сушарки, фільтраційно-конвективне сушіння, якість.

OLEH TSURKAN

Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University»

JUSTIFICATION OF A RATIONAL METHOD AND EQUIPMENT FOR DRYING HIGH-MOISTURE SEEDS OF MELONS

The main reason holding back the wide distribution of pumpkin, like some other crops, is the lack of quality seeds. The receipt and storage of seed is largely dependent on the methods and means of drying. When choosing a technology and means for drying pumpkin seeds, one must take into account their adhesion properties, that is, the tendency to form conglomerates under certain conditions, sticking to working bodies, etc.

Drying equipment should ensure uniform drying throughout the entire volume of products with different moisture content, as well as a change in the main process parameters - temperature and drying agent feed rate, which will allow the use of differential drying modes. But in drying installations used for grain processing, it is practically impossible to organize a high-quality process due to the impossibility of using differentiated modes of drying seeds, as well as increased cohesive-adhesive properties of the pumpkin seed layer. A much greater effect is achieved by devices with active hydrodynamic modes, in particular, in a fluidized bed with its modifications: an aerial boiling, vibroboiling and aerovibroboiling bed.

In order to improve the flowability of a layer of materials prone to sticking, sticking, the formation of channels in the material layer, agglomeration, at the initial stage of drying, along with vibration and aeration mixing, it is advisable to use additional mechanical mixing devices.

The article proposes a fundamentally new concept of energy-saving drying of high-moisture seed materials, in particular pumpkin seeds, the drying process of which through specific morphological, thermophysical, increased cohesive-adhesive properties, the presence of residues of the surface film and fruit in the seed layer is the most energy-intensive. At the first stage in the process of filtration drying, in which the heated drying agent under the influence of pressure drops moves through the cellular structure of the gas-permeable material, the drying of the material also occurs due to a change in the state of aggregation of the available, mainly surface, moisture. At the second stage, when the seeds acquire discrete properties, drying occurs in the aerovibroboiling layer due to the developed phase contact and an increase in the convective diffusion rate, which contributes to an increase in the drying rate in general and allows the process to be carried out at the maximum permissible values of seed heating.

To carry out research to determine the rational technological parameters of the process, a structural and technological scheme of a vibration unit has been developed and a prototype has been created, which sequentially implements the filtration and convective stages of drying pumpkin seeds.

Keywords: melons, pumpkins, high-moisture seeds, vibrating dryers, filtration-convective drying, quality.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Останнім часом українські аграрії все частіше згадують про так звані нішеві культури, тобто культури які можуть успішно культивуватися в країні, але з тих або інших причин не мають широкого розповсюдження. В топ-10 нішевих культур України входять зокрема вишня, груша, батат, спаржа тощо, і звичайно гарбуз. Саме гарбуз заслуговує на значно більше поширення завдяки багатьом чудовим яkostям. На фоні зростаючого попиту на насіння гарбуза суттєво зростає попит на його посівний матеріал та продукти переробки, зокрема: м'якоть, гарбузову олію, жмих. З гарбузової сировини в Україні виготовляють пюре, їстівний концентрат, заправки і соуси, цукати, пастилу, БАДи, а також годують м'якоттю худобу. Ще однією перевагою з точки зору фермерів є те, що після збирання гарбузів на полі залишається багато клітковини, яка дуже корисна для ґрунту, що вказує на те, що гарбуз являється прекрасним попередником для більшості культурних рослин. Також аграрії вважають гарбуз харчовою культурою, крім того він страхує господарство від неврожаю основних культур завдяки своїй посухостійкості [1].

Головною причиною яка стримує широке розповсюдження гарбуза, як і деяких інших культур, є дефіцит якісного насіння. Отримання і збереження посівного матеріалу в значній мірі залежить від способів і засобів сушіння, адже зберігатись насіння має при певних умовах, зокрема вологість насіння більшості культур не повинна перевищувати 14-15%.

Сушіння насіння в зерносушарках із порушенням вимог до їх експлуатації, без урахування

ботанічних і фізичних властивостей, початкової вологості насіння, типу зерносушарок та режимів сушіння є однією з причин зниження посівних якостей. Сушіння, яке виконується із врахуванням усіх факторів, сприяє дозріванню насіння у післязбиральний період підвищенню його життєздатності. При виборі технології та засобів сушіння насіння гарбуза потрібно враховувати його адгезійні властивості, тобто схильність до утворення при певних умовах конгломератів, налипання на робочі органи тощо.

Ефективність більшості технологій та обладнання яке використовують для сушіння насіння гарбуза не може забезпечити потрібної продуктивності та необхідних посівних якостей готового продукту. Головною причиною такої ситуації є відсутність повної інформації, наукових досліджень з обґрунтування прийомів, конструкційних і режимних параметрів машин та їх робочих органів. Часто зустрічається інформація, яка породжує протиріччя. Це обумовлено відсутністю узагальнених теоретичних і експериментальних досліджень процесу сушіння насіння баштанних культур у післязбиральний період, що негативно вплинуло на розробку обладнання та технологічних ліній.

Вирішити це завдання можна шляхом проведення глибоких теоретичних і експериментальних досліджень, систематизації та аналізу досягнутих технічних рішень.

Аналіз досліджень та публікацій

У зв'язку зі значною різноманітністю способів та відповідних засобів сушіння дисперсних матеріалів доцільно розглянути існуючі способи сушіння насіння гарбуза, виходячи з домінуючої ознаки їх класифікації – стану шару матеріалу, враховуючи технологічні, енергетичні, економічні показники процесу та способи його інтенсифікації, зокрема шляхом вібраційної дії при організації процесу сушіння необхідно, в першу чергу, врахувати технологічні властивості продукції – біологічні, фізико-хімічні, структурно-механічні, теплофізичні, що має визначальний вплив на вибір методу і режимів сушіння, а також конструкції сушильного пристрою [2].

Сушильне обладнання повинно забезпечувати рівномірність сушіння по всьому об'єму продукції з різною вологістю, а також зміну основних параметрів процесу – температури та швидкості подачі сушильного агента, що дасть можливість застосовувати диференційні режими сушіння. Також обладнання для сушіння повинно задовольнити основні техніко-економічні показники: мінімальні габарити, масу, металоємкість; питомі енерговитрати, автоматизацію та механізацію процесу, ремонтпридатність.

Спеціальне обладнання для сушіння насіння гарбуза серійно в нашій країні не випускається. Для реалізації цього процесу часто використовують сушарки для зерна: барабанні, конвеєрні, установки для вентиляції сіна тощо. Але в сушильних установках такого типу практично неможливо організувати якісний процес через неможливість застосовувати диференційовані режими сушіння насіння, а також підвищені когезивно-адгезивні властивості шару насіння гарбуза.

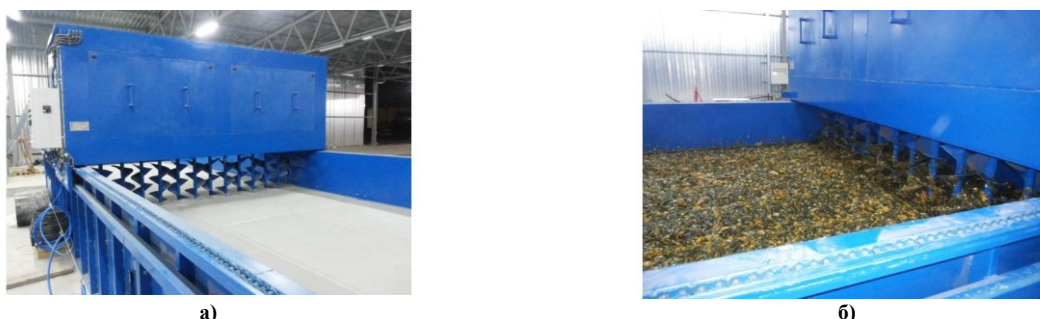


Рис. 1. Загальний вигляд сушильного стола V-KB 15/3: а) – сушильний стіл із шнековими перемішувачами; б) – сушильний стіл із завантаженням насінням

Одним із небагатьох українських підприємств, які освоїли випуск сушарок для насіння баштанних культур, є Каховський експериментальний механічний завод. Їх розробка – сушильний стіл V-KB 15/3 (рис. 1), який призначений для сушіння сипкої сировини [3].

Безсумнівною перевагою даної конструкції є простота конструкції, а також можливість механічного перемішування матеріалу за допомогою шнека. Але її недоліки – висока метало- і енергоємність значно знецінюють її позитивні сторони.

Значно більшого ефекту досягають пристрої з активними гідродинамічними режимами, зокрема в киплячому шарі з його модифікаціями: аерокиплячому, віброкиплячому та аеровіброкиплячому шарі (АКШ, ВКШ та АВКШ відповідно) [4]. Розглянемо декілька конструкцій сушарок, найбільш характерних для даної групи.

Для сушіння продукції, схильної до злипання, використовуються вібраційні установки з криволінійною формою поверхні в зоні контакту фаз. Завдяки обтічній формі таких поверхонь, не утворюються застійні зони, що виключає нерівномірний прогрів та перегрів матеріалу, частки матеріалу

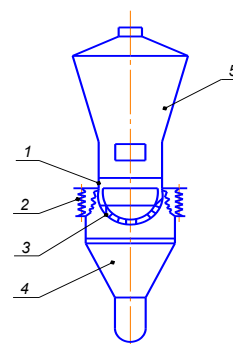


Рис. 2. Схема лоткової конвективної вібраційної сушарки з U-подібним днищем:
1 – еластичне з'єднання;
2 – пружні елементи;
3 – перфорована решітка;
4 – дифузор; 5 – сушильна камера

активно перемішуються, процес тепло масообміну інтенсифікується. Особливістю даної сушарки [5] (рис.2) є перфороване U-подібне днище.

Конструкція установки для сушіння в псевдозрідженому шарі схильних до злипання та налипання сипких матеріалів з підвищеною вологістю [6] приведена на рис. 3.

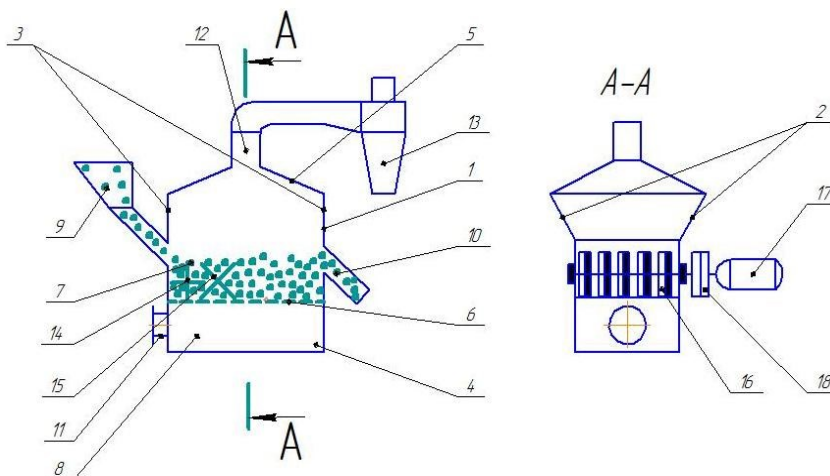


Рис. 3. Сушильна установка для сушіння у псевдозрідженому шарі з перемішувачим пристроєм:

- 1 – корпус; 2 – бокові стінки; 3 – торцеві стінки; 4 – піддон; 5 – кожух; 6 – газорозподільна решітка;
- 7 – робоча камера; 8 – підрешіткова камера; 9 – завантажувальний пристрій; 10 – розвантажувальний пристрій; 11 – патрубок для підведення нагрітого псевдозріджуючого агента-теплоносія; 12 – патрубок для відведення відхідних газів; 13 – циклон; 14, 15 – паралельні вали; 16 – лопаті; 17 – електродвигун; 18 – мотор-редуктор

Механічний розпушувач лопатями 16 перемішує матеріал, розбиває грудки, сприяє рівномірному протіканню процесу сушки. Проте дана конструкція не забезпечує високої якості сушіння матеріалу схильного до налипання на робочі органи.

Німецька фірма «Ешервіс» розробила сушарку в якій вібрації піддається лоток, по якому переміщується псевдозріджений шар (рис. 4) матеріалу, всі частки якого інтенсивно рухаються, згустки розпушуються, чим зменшується налипання на робочі органи [7].

В наступній сушарці [8] (рис. 5) матеріал

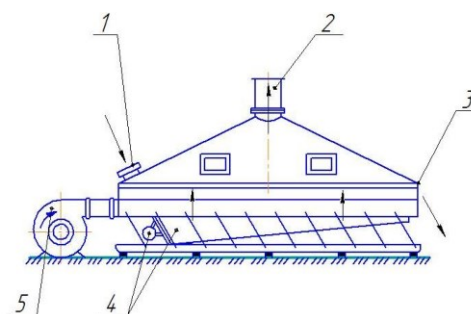


Рис. 4. Сушильний агрегат з коливним конвеєром і киплячим шаром: 1 – завантажувальний отвір; 2 – витяжний канал; 3 – вихідний отвір; 4 – вібробуджувач; 5 – вентилятор

переміщується ланцюговим конвеєром з скребками спеціальної увігнутої форми. Дана конструкція не передбачає протидію налипання високовологих соковитих овочевих культур від налипання на елементи конструкції.

В більшості розглянутих та їм подібних конструкцій недостатньо передбачені заходи по мінімізації впливу когезивно-адгезивних властивостей матеріалу, особливо руйнації кірки насіння.

З метою покращення сипкості шару матеріалів, схильних до злипання, налипання, утворення каналів в шарі матеріалу, агломерації, на початковому етапі сушіння поряд з вібраційним та аераційним перемішуванням доцільне застосування додаткових механічних пристроїв для

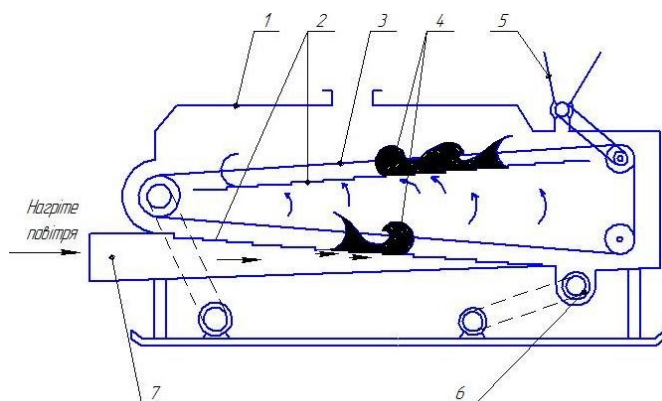


Рис. 5. Пристрій для сушіння насіння соковитоплідних овочевих культур у вихревому шарі: 1 – сушильна камера; 2 – повітророзподільча решітка; 3 – ланцюгово-скребковий конвеєр; 4 – скребки; 5 – завантажувальний бункер; 6 – завантажувальний пристрій; 7 – патрубок

перемішування.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: інтенсифікація процесу післязбиральної обробки насіння гарбуза шляхом обґрунтування раціонального способу та обладнання для сушіння високовологого насіння баштаних культур. Для цього обґрунтовані способи мінімізації факторів негативного впливу на показники процесу

сушіння насіння баштанних культур, запропонована схема вібраційної установки для фільтраційно-конвективного сушіння насіння гарбуза.

Виклад основного матеріалу

На основі аналізу відомих технічних рішень, огляду літературної і патентної інформації, системного аналізу процесування запропоновано принципово нову концепцію (рис. 6) енергоощадного сушіння високовологих насінневих матеріалів, зокрема насіння гарбузів, процес сушіння яких через специфічні морфологічні, теплофізичні, підвищені когезивно-адгезивні властивості, наявності в шарі насіння залишків поверхневої плівки та плоду найбільш енергоємний.

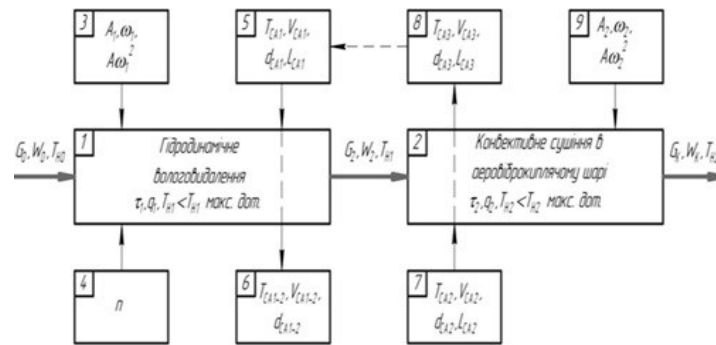


Рис. 6. Функціонально-параметрична схема енергоощадної вібраційної машини для фільтраційно-конвективного сушіння високовологого насіння: 1 – фільтраційне сушіння; 2 – конвективне сушіння;

3 – вібраційна дія; 4 – механічне перемішування та очищення перфорованих поверхонь; 5 – нагрів, подача сушильного агента в об'єм насіння «зверху-вниз»; 6 – відбір сушильного агента, розрідження в піддонному просторі; 7 – нагрів, подача сушильного агента в піддонний простір «знизу-вверх»; 8 – відведення сушильного агента; 9 – вібраційна дія; G – маса; W – вологість; T_n – температура насіння баштанних культур; T_{ca} – температура; d_{ca} – вологовміст; H_{ca} – ентальпія; L_{ca} – подача сушильного агента; A – амплітуда; ω – частота коливань; M – крутний момент; n – частота обертання механічного перемішувача-очищувача

Враховуючи висновки роботи [9], що «використання віброкиплячого шару при сушінні в каталітичних та інших технологічних процесах забезпечує незалежність виникнення властивостей шару від потоку середовища», а також на кожному з етапів процесу основним інтенсифікуючим фактором визначено вібраційну дію.

Концепція передбачає оптимізацію амплітудно-частотних параметрів та траєкторії руху робочої камери, зокрема співвідношення вертикальної та горизонтальної складових амплітуди вібрацій.

Зокрема, на першому етапі видалення вільної незв'язаної поверхневої вологи сушіння шару доцільно проводити способом фільтраційного сушіння. Процес інтенсифікується завдяки перепаду тисків, обумовленому подачею сушильного агента у верхні шари насіння та розрідженням у нижніх, що сприяє виникненню двохфазного газорідного потоку, який витісняється через пористу структуру шару у напрямку природного стікання вологи «зверху-вниз». Підігрів сушильного агента, вибір оптимального напрямку та способу його подачі крім активізації теплообмінних процесів викликає направлені зміни структурно-фільтраційних та структурно-механічних властивостей насіння та зниження адгезивно-когезивних сил зчеплення.

У процесі фільтраційного сушіння, при якому підігрітий сушильний агент під дією перепадів тисків рухається через пористу структуру газопроникного матеріалу, сушіння матеріалу також відбувається за рахунок зміни агрегатного стану наявної, в основному, поверхневої вологи. Відбувається термічне сушіння шляхом перетворення вологи в пару з наступним її винесенням з шару насіння. Процес теплообміну відбувається на внутрішньо-капілярній поверхні, яка в 10-100 раз перевищує геометричну поверхню висушуваного матеріалу.

На першому етапі вібраційний вплив направлений на руйнування і зняття осаду та кірки на поверхні фільтрування, зниження гідралічного опору шару насіння, зміни надлишкового тиску рідини в каналах, що вібрують. При цьому відбувається попередній прогрів та структурно-механічні зміни шару насіння.

На другому етапі, коли насіння набуває дискретних властивостей, сушіння відбувається в аероброїляючому шарі за рахунок розвиненого контакту фаз та підвищення швидкості конвективної дифузії, що сприяє підвищенню швидкості сушіння в цілому і дозволяє провести процес при максимально допустимих значеннях нагріву насіння.

Розглянуті вище основні способи та обладнання, зокрема засоби сушіння в нерухомому шарі, барабанні та конвеєрні сушарки не можуть забезпечити поставлені вимоги до показників технологічності та якості процесу енергоощадного сушіння високовологих насінневих матеріалів.

Попередні експериментальні дослідження і спостереження процесів, а також аналітичний огляд відомих технологій сушіння високовологих насінневих матеріалів баштанних культур, в тому числі гарбуза, дозволили виявити ряд факторів, які знижують ефективність процесу та погіршують кінцеві показники якості продукції, намітити шляхи мінімізації та ліквідації їх впливу (табл. 1).

Вирішенню поставлених задач найбільше відповідають вібраційні установки. Надання днищу установки U-подібної форми сприяє виключенню застійних зон, дає можливість введення в об'єм робочої

камери перемішувачих пристроїв, а також сприяє організації транспортування продукції у поздовжньому напрямку. Для реалізації досліджень раціональною є конструкційно-технологічна схема вібраційної установки, яка реалізує послідовно фільтраційний та конвективний етапи сушіння насіння гарбуза. На рис.7 представлена модель установки, а на рис. 8 натуральний вигляд обладнання для реалізації процесу фільтраційно-конвективного сушіння.

Таблиця 1

Способи мінімізації факторів негативного впливу на показники процесу фільтраційно-конвективного сушіння насіння баштанних культур

Фактор впливу на процес сушіння	Наслідки впливу негативних факторів	Заходи мінімізації впливу негативних факторів
1	2	3
Підвищена початкова вологість (52%). Наявність в шарі насіння поверхневої незв'язаної вологи	Значна тривалість та енергоємність процесу конвективного сушіння шляхом нагріву-випаровування	Видалення поверхневої вологи внаслідок фільтраційних, гідродинамічних процесів. Подача сушильного агента в напрямку природного стоку «зверху-вниз». Розрідження в піддонному просторі
Максимально допустима температура нагріву посівних партій насіння	Неможливість інтенсифікації процесу шляхом значного підвищення температури сушильного агента	Вібраційна дія, посилення вертикальної складової вібрації, додаткове механічне перемішування
Зниження прозорості перфорованого днища внаслідок осідання фільтрату та залишків поверхневої плівки	Сповільнення процесу фільтраційного сушіння	Вібраційний вплив на реологічні властивості осаду. Механічне очищення перфорованої поверхні днища, оснащення горизонтальної лопаті перемішувача еластичним скребком
Утворення кірки в шарі насіння, налипання насіння до грюючих перфорованих поверхонь	Зменшення активної площі перфорації, зменшення конвективної складової нагріву насіння, збільшення енерговитрат на подачу сушильного агента	Конструкційне рознесення (розділення) перфорованих поверхонь подачі сушильного агента та видалення вологи. Механічне очищення перфорованих поверхонь подачі-відбору сушильного агента. Задання раціональної температури сушильного агента
Низька продуктивність обладнання через невисоку швидкість сушіння, яка обмежена максимальною висотою шару насіння	Товстий шар насіння (більше 0,15 м) знижує його порозність, відповідно затруднює продувку та нагрів шару насіння	Розміщення поверхні подачі сушильного агента безпосередньо в об'ємі насіння (по осі робочої камери), що зменшує активну висоту шару насіння при незмінності питомого навантаження на днище робочої камери, розрідження в підрешітному просторі. Збільшення порозності шару насіння внаслідок вібраційного та додаткового механічного перемішування
Необхідність розміщення в робочій камері перфорованого циліндра для подачі сушильного агента і засобів додаткового механічного перемішування продукції та очищення перфорованих поверхонь	Ускладнення конструкції обладнання, збільшення енергозатрат	Використання в якості вала для кріплення та привода П-подібних лопатей механічного перемішувача-очищувача перфорованого циліндра, розмішеного по горизонтальній осі робочої камери

Вібраційна установка складається з U-подібної робочої камери 1, яка за допомогою пружних елементів 2 встановлена на нерухомій основі і оснащена дебалансним віброзбуджувачем 3 та двома газорозподільчими решітками, одна з яких виконана у вигляді пустотілого циліндра 4 з перфорованою поверхнею, розміщеного по горизонтальній осі робочої камери 1 в шарі матеріалу, який висушується. Циліндр 4, на якому симетрично жорстко закріплено дві П-подібні лопаті 5 з еластичними скребками 6 з однієї (торцевої) сторони, яка виходить за межі робочої камери 1, за допомогою пружно-поворотного (еластичного) з'єднання 7 суміщений (з'єднаний) з системою подачі (відбору та формування) сушильного агента 8, а з іншої (протилежної) – з приводом, який забезпечує його обертальний рух.

Друга розподільча решітка є, власне, перфорованим днищем робочої камери 1, що жорстко з'єднане з газорозподільчим коробом – дифузором 10, який через пружне еластичне з'єднання 11 суміщений з

системою подачі, відбору та формування сушильного агента 9. Робоча камера 1 у верхній панелі 13 має завантажувальний отвір 14, а на рівні днища – розвантажувальний лоток 15.

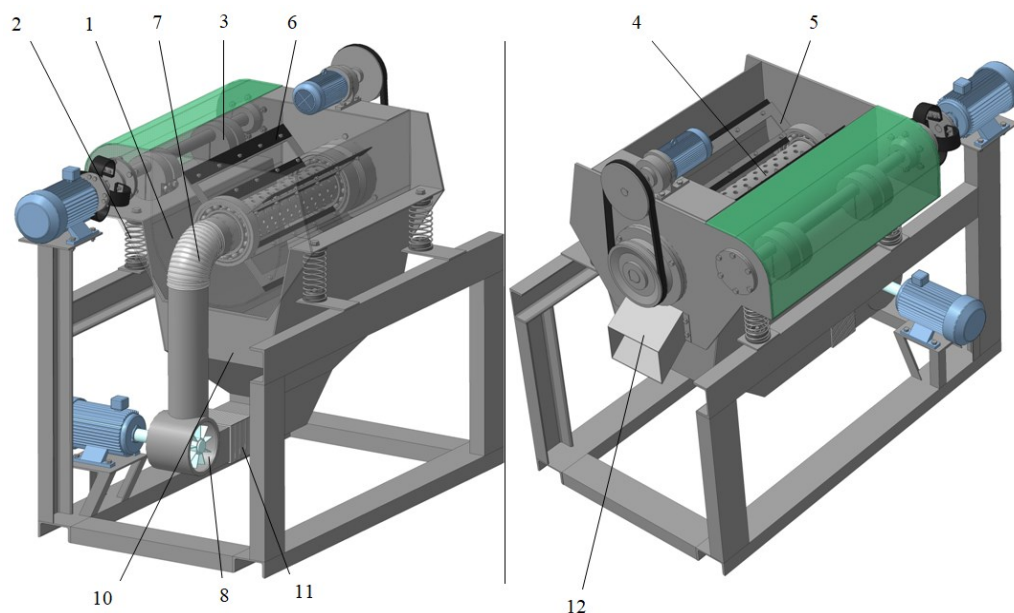


Рис. 7. 3-D модель вібраційної установки для фільтраційно-конвективного сушіння насіння гарбуза



Рис. 8. Загальний вигляд вібраційної установки для фільтраційно-конвективного сушіння насіння гарбуза

На першому етапі процесу підігрітий сушильний агент з системи (формування) подачі (та відбору) сушильного агента 9 через пружно-поворотне (еластичне) з'єднання 7 поступає у внутрішню частину пустотілого циліндра 4 з перфорованою боковою поверхнею, через яку подається в шар оброблюваного матеріалу 5, проходить через нього зверху вниз і проникає через перфороване днище робочої камери 1 в дифузор 10, в якому створюється розрідження. Відпрацьований вологий охолоджений сушильний агент виводиться з дифузора 10 через пружне (еластичне) з'єднання 11 системою (формування) подачі (та відбору) сушильного агента 8.

На другому етапі підігрітий сушильний агент з системи (формування) подачі (та відбору) сушильного агента 8 через дифузор 10, перфороване днище робочої камери 1 подається в шар оброблюваного матеріалу, проходить через нього знизу вверх і видаляється з робочої камери 1.

Матеріал завантажується в робочу камеру 1. Під дією віброзбуджувача 3, який створює коливання робочої камери 1 і потоку сушильного агента, матеріал переходить у віброкиплячий стан і рівномірним шаром заповнює сушильну камеру 1. За рахунок фільтраційних, гідродинамічних процесів, вібрації, взаємодії з рухомих підігрітим сушильним агентом та внаслідок розрідження в дифузорі 10, яке створюється системою (формування) подачі (та відбору) сушильного агента 8, поверхнева волога з матеріалу інтенсивно видаляється разом з сушильним агентом через перфороване днище робочої камери 1. Дві П-подібні лопаті з еластичними скребками, які приводяться в обертальний рух зовнішнім (окремим) приводом, забезпечують очищення перфорованих поверхонь робочої камери і циліндра 4 від залишків матеріалу, який висушується, та сприяють додатковому його перемішуванню.

Інтенсифікації процесу сушіння сприяє організоване в напрямку природного стікання «зверху-вниз» переміщення підігрітого сушильного агента, а також тепломасообмінні процеси та попередній нагрів насіння.

На другому етапі процесу після видалення поверхневої вологи відбувається конвективне сушіння попередньо підігрітого матеріалу в аеровіброкиплячому шарі шляхом продувки підігрітого сушильного агента через перфороване днище і матеріал, порозність якого внаслідок попередніх підготовчих операцій значно підвищується, а когезивно-адгезивні властивості знижуються. Це дає змогу збільшити температуру сушильного агента і, тим самим, значно інтенсифікувати тепломасообмінний процес при дотриманні кінцевих якісних показників продукції та суттєвому зниженню енергозатрат.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Особливості сушіння насіння гарбуза, які полягають у морфологічній будові, високій початковій вологості, когезивно-адгезивних властивостях, вимагають швидкого виконання післязбиральної обробки, оскільки будь-яка затримка даного процесу призводить до різкого розмноження шкідників та бактерій, втрати харчових і органолептичних показників та посівних властивостей.

2. Існуючі зразки вітчизняного обладнання для післязбиральної обробки високовологого насіння баштанних культур, в тому числі гарбуза, морально та фізично застарілі, не забезпечують гнучкості виконання технологічного процесу, є енерго- та металоємними і не можуть використовуватися у обробці партій насінневого матеріалу.

3. Існуюче зерносушильне обладнання не відповідає вимогам до сушіння високовологого насіння гарбуза, тому існує потреба в розробці, дослідженні та впровадженні нових енергоефективних схем та конструкцій.

4. Оброблення насінневого матеріалу може ефективно проводитися у вібраційних установках, оскільки вони забезпечують інтенсивні та енергоощадні режими оброблення матеріалу з одночасною щадною дією на оброблюваний матеріал.

5. Попередні експериментальні дослідження і спостереження процесів, а також аналітичний огляд відомих технологій сушіння високовологих насінневих матеріалів баштанних культур, в тому числі гарбуза, дозволили виявити ряд факторів, які знижують ефективність процесу та погіршують кінцеві показники якості продукції, намітити шляхи мінімізації та ліквідації їх впливу.

6. Для успішної реалізації процесу сушіння, визначення раціональних технологічних та конструктивних параметрів спроектований та виготовлений дослідний зразок вібраційної установки для фільтраційно-конвективного сушіння, змонтоване лабораторне обладнання для проведення експериментальних досліджень.

Література

1. Гарбуз знову в моді. Київ, 2019. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/podiiia/item/11521-harbuzznovu-v-modi.html> (дата звернення: 15.12.2021).
2. Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. Зерносушение и зерносушилки. Москва, 1982. 239 с.
3. Каховський експериментальний механічний завод. Каховка, 2019. URL: <http://kemz.com.ua/v-kb-153-sushilnaya-ustanovka-sushilnyj-stol-dlya-tykvennoj-semechki.html>. (дата звернення: 20.12.2021).
4. Поперечний А.М. Наукове обґрунтування впливу механічних коливань на інтенсифікацію процесів переробки харчової сировини: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. Харків, 2004. 47 с.
5. Пат. КМ 21403 Україна. Вібраційна сушарка. Опубл. 15.03.2007.
6. Пат. КМ 33768 Україна. Установка з псевдозрідженим шаром для сушіння сипучих вологих матеріалів. Опубл. 10.07.2008.
7. Конструкции сушилок. Москва, 2014. URL: <http://www.studopedia.info/1-114389.html> (дата звернення: 22.12.2021).
8. А. с. 943504. МКИЗ F 26 B 17/26. Способ сушки семян сочноплодных овощебахчевых культур / А.В. Демин, Н.Н. Елисеев, В.Л. Гольдман, В.П. Мурадов, И.В. Коряжнов. № 943504; заявл. 09.06.78; опубл. 15.07.78, Бюл. № 26.
9. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика новая область науки. Москва, 1958. 63 с.

References

1. Harbuzz novu v modi. Kyiv, 2019. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/podiiia/item/11521-harbuzznovu-v-modi.html> (data zvernennia: 15.12.2021).
2. Zhidko V.I., Rezchikov V.A., Ukolov V.S. Zernosushenie i zernosushilki. Moskva, 1982. 239 s.
3. Kakhovskiy eksperimentalnyi mekhanichnyi zavod. Kakhovka, 2019. URL: <http://kemz.com.ua/v-kb-153-sushilnaya-ustanovka-sushilnyj-stol-dlya-tykvennoj-semechki.html>. (data zvernennia: 20.12.2021).
4. Poperechniy A.M. Naukove obgruntuvannia vplyvu mekhanichnykh kolyvan na intensyfikatsiiu protsesiv pererobky kharchovoi syrovyny: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.18.12. Kharkiv, 2004. 47 s.
5. Pat. KM 21403 Ukraina. Vibratsiina susharka. Opubl. 15.03.2007.
6. Pat. KM 33768 Ukraina. Ustanovka z psevdozridzhenym sharom dlia sushinnia sypuchykh volohykh materialiv. Opubl. 10.07.2008.
7. Konstrukcii sushilok. Moskva, 2014. URL: <http://www.studopedia.info/1-114389.html> (data zvernennya: 22.12.2021).
8. A. s. 943504. MKIZ F 26 B 17/26. Sposob sushki semyan sochnoplodnyh ovoshebahchevyh kultur / A.V. Demin, N.N. Eliseev, V.L. Goldman, V.P. Muradov, I.V. Koryazhnov. № 943504; zayavl. 09.06.78; opubl. 15.07.78, Byul. № 26.
9. Rebinder P.A. Fiziko-himicheskaya mehanika novaya oblast nauki. Moskva, 1958. 63 s.
- 10.

Рецензія/Peer review : 24.01.2022 р.

Надрукована/Printed :28.02.2022 р.

ХОРОЛЬСЬКИЙ В. П.

ORCID: 0000-0003-4040-3229

e-mail: khorolv@ukr.net

КОРЕНЕЦЬ Ю. М.

ORCID: 0000-0002-5873-7908

e-mail: korenets@donnuet.edu.ua

ПЕТРУШИНА Ю. М.

e-mail: petrushka.u1979@gmail.com

РАСЧЕХМАРОВ І. В.

e-mail: raschekhmarov@donnuet.edu.ua

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ В ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕРАХ ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

У статті запропоновано сукупність теоретичних і практичних атрибутів(ознак), зв'язаних зі проектними рішеннями щодо процесів заморожування м'ясних продуктів в холодильних камерах великої вантажомісткості промислових холодильників. Розроблено систему інтелектуальних датчиків контролю параметрів геометрії туші м'яса великої рогатої худоби та ознаки стану випарників холодильної камери і системи холодозабезпечення промислового холодильника. Розроблена система автоматичного розпізнавання, яка працює в режимі реального часу та визначає: геометричні параметри локальних та інтегральних ділянок туші у вигляді параметрів, площини, радіусів, довжини, ширини, кількості точок перегину контурів, геометричного центру елементів зображень; параметри вологості та постійно аналізує простір ділянок холодильної камери.

Запропоновано інтелектуальну систему нейрокерування холодозабезпеченням холодильної камери, в якій вмонтовано дві відеокамери та матричні сенсори з п'єзоелементами оцінки форми туші великої рогатої худоби; доведено, що експертний банк зображення туші дає змогу використати еталонні методи порівняльного аналізу. Завдяки інтерфейсу з підсистемами інформаційного забезпечення система надає оператору-технологу відеоінформацію та автоматично впливає на інтелектуальні виконавчі механізми компресорів, вентиляторів, конденсаторів. Розроблено систему нейронечіткого керування процесом обмерзання випарника, в якій передбачена експертна система, алгоритм розпізнавання, банк експертного зображення випарника зі сніговою шубою та інтелектуальним механізмом ударного впливу ультразвукових коливань на поверхню приладу охолодження.

Наведено узагальнений алгоритм функціонування систем керування холодозабезпеченням холодильної камери промислового холодильника та методика його використання.

Ключові слова: холодозабезпечення, холодильні камери, нейрокерування, інтелектуальна система

VALENTYN KHOROLSKY, YURIY KORENETS, YULIYA PETRUSHYNA, IVAN RASCHEKHMAROV

Donetsk National Economy and Trade and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky

IMPROVEMENT OF SYSTEMS FOR MONITORING AND CONTROLLING THE PROCESS OF FREEZING PRODUCTS IN REFRIGERATING CHAMBERS OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS

The article proposes a set of theoretical and practical attributes associated with design decisions regarding the processes of freezing meat products in refrigerators with a large load capacity of industrial refrigerators. A system of intelligent sensors has been developed to control the parameters of the geometry of the carcass of cattle meat and signs of the state of the evaporators of the refrigeration chamber and the refrigeration supply system of an industrial refrigerator. An automatic recognition system has been developed that works in real time and determines: geometric parameters of local and integral sections of the carcass in the form of a plane, radii, length, width, number of contour inflection points, geometric center of image elements; humidity settings. This system constantly analyzes the space of sections of the refrigerating chamber.

An intelligent system for neurocontrol of the refrigeration supply of a refrigerating chamber is proposed, in which two video cameras and matrix sensors with piezoelectric elements for assessing the shape of a cattle carcass are mounted; it has been proved that the expert ink image bank allows using reference methods of comparative analysis. Thanks to the interface with information support subsystems, the system provides the operator-technologist with video information and automatically affects the intelligent actuators of compressors, fans, condensers. A system for neuro-fuzzy control of the evaporator freezing process has been developed, which provides for an expert system, a recognition algorithm, an expert image bank of an evaporator with a snow coat and an intelligent mechanism for the impact of ultrasonic vibrations on the surface of a cooling device.

A generalized algorithm for the operation of refrigeration control systems for the refrigerating chamber of an industrial refrigerator and a method for its use are presented.

Key words: refrigeration supply, refrigerating chambers, neurocontrol, intelligent system

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У системах керування холодозабезпеченням холодильних камер для заморожування туш великої рогатої худоби (ВРХ) з оптимальними температурними режимами -40°C і менше та підтримання вологісного режиму необхідно автоматично в темпі з процесом контролювати їх важливі параметри.

В розробленій в ДОННУЕТ імені Михайла Туган-Барановського інтелектуальній платформі «Іжа» моніторинг параметрів керування холодильними установками виконано за допомогою датчиків температури

і вологи повітря в холодильних камерах. Це дозволяє оператору за допомогою програмного інтерфейсу та візуалізації параметрів оптимізувати витрати енергії та скоротити викиди CO₂[1].

Концепція збільшення ефективності, надійності та підвищення безпеки заморожування продукції харчування вимагає від дослідників нових проектних рішень щодо контролю параметрів геометрії заморожуваного продукту великої рогатої худоби (ВРХ).

Аналіз досліджень та публікацій

У сучасних системах автоматизованого управління широко використовуються способи і пристрої визначення розмірів предметів охолодження, наприклад оптико-телевізійні або радіолокаційні [2]. Суттєвою ознакою цих способів і пристроїв є те, що виконується аналіз одержаної інформації відповідно до розроблених алгоритмів розпізнавання образів [3] та надаються висновки про координати об'єкту досліджень. Серед недоліків цього методу необхідно відмітити недостатню точність визначення геометрії об'єкту за рахунок низької завадостійкості, обмеженої можливості фільтрації завад, та неможливості швидкої адаптації при зміні параметрів холодильної камери і виду заморожуваного продукту. Тому створення способу керування рухомим об'єктом (геометрії туші ВРХ) в просторі холодильної камери з покращенням функціональними можливостями, за рахунок точності швидкодії визначення параметрів координат туші ВРХ і, як наслідок, підвищення оперативності виконання задачі оптимізації втрати споживчих характеристик продуктів харчування є важливим атрибутом проектних рішень.

Іншим важливим аспектом роботи є створення автоматичної системи візуалізації технічного стану випарника холодильної камери (обмерзання випарника) та формування команд щодо адаптивного керування процесом відтаювання випарника.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розробка та дослідження системи контролю параметрів туші великої рогатої худоби та стану випарника холодильної камери промислового холодильника системі нейроуправління холодозабезпеченням.

Виклад основного матеріалу

Для рішення цих інноваційних завдань будемо використовувати інтегровані методи нечіткої оцінки геометрії туші, її кольору з використанням як матричних сенсорів з ультразвуковими чутливими елементами, так і системи з відеокамерами комп'ютерного зору [2, 4]. Такий підхід формування інтегрального зображення туші ВРХ за допомогою нейромережових технологій дозволяє:

- одержати інтегральні інформаційні параметри зображень туші ВРХ при формуванні сигналів з ультразвукових чутливих елементів та
- система дозволяє визначити геометрію, топологію і колір туші ВРХ для порівняльних сигналів зображення і зміни положення туші, її кольору тощо.
- система визначає геометричні параметри локальних та інтегральних ділянок туші у вигляді параметрів площини, радіусів, довжини, ширини, кількості точок перетину контурів, геометричного центру і елемента зображень, ділянок холодильної камер, що постійно аналізуються. При цьому перехід до типу зображення виконується на основі обчислення адаптивного коефіцієнту (експертного навченого зображення) і того дійсного зображення туші ВРХ, яка є в холодильній камері;
- система може розпізнавати ділянку території за допомогою нейромережових технологій, що дозволяє оператору-технологу (холодильщику) аналізувати кількість туш ВРХ та можливість додаткового дозавантаження холодильної камери.

На рис. 1 наведена схема інтелектуальної системи керування холодозабезпеченням холодильної камери. В холодильній камері для заморожування м'яса у вигляді туші, представленої на рис. 1, наведено схему положення туші ВРХ з системою одноканального розподілення повітря та систему датчиків розпізнавання геометричних розмірів (ВК1, ВК2, МС1, МС2), а також відеокамера ВК3 в системі розпізнавання стану випарника.

Розпочнемо синтез цієї системи (рис. 1) з вивчення принципу дії інтегрованих датчиків контролю геометрії тіла ВРХ. У системі, як уже вказано, використано також матричний сенсор з ультразвуковим чутливим елементом.

На рис. 1 ІСКХМ – інтелектуальна система керування холодильною машиною. Відеокамери В1, В2, В3 призначені для відображення розмірів туші та стану обмерзання випарника. Інтелектуальний блок оброблення відеозображень перетворює зображення туші від відеокамери в бінарну матрицю. Блок діагностики обмерзання випарника – система візуалізації оцінки стану намерзання льоду на поверхню випарника. Блок нейромережового розпізнавання зображень туші окремими вхідними пристроями приєднаний до деяких виходів інтелектуального блоку оброблення зображення туші, схеми порівняння, пам'яті еталонів. Блоки підключення відеокамер ВК1, ВК2, ВК3 та МС1, МС2 зображень виконані у вигляді багатоканального мультиплексора. Визначення геометрії туші в статті виконано за рахунок оцінки зображень різних розмірностей і кольору та обчислення оцінки:

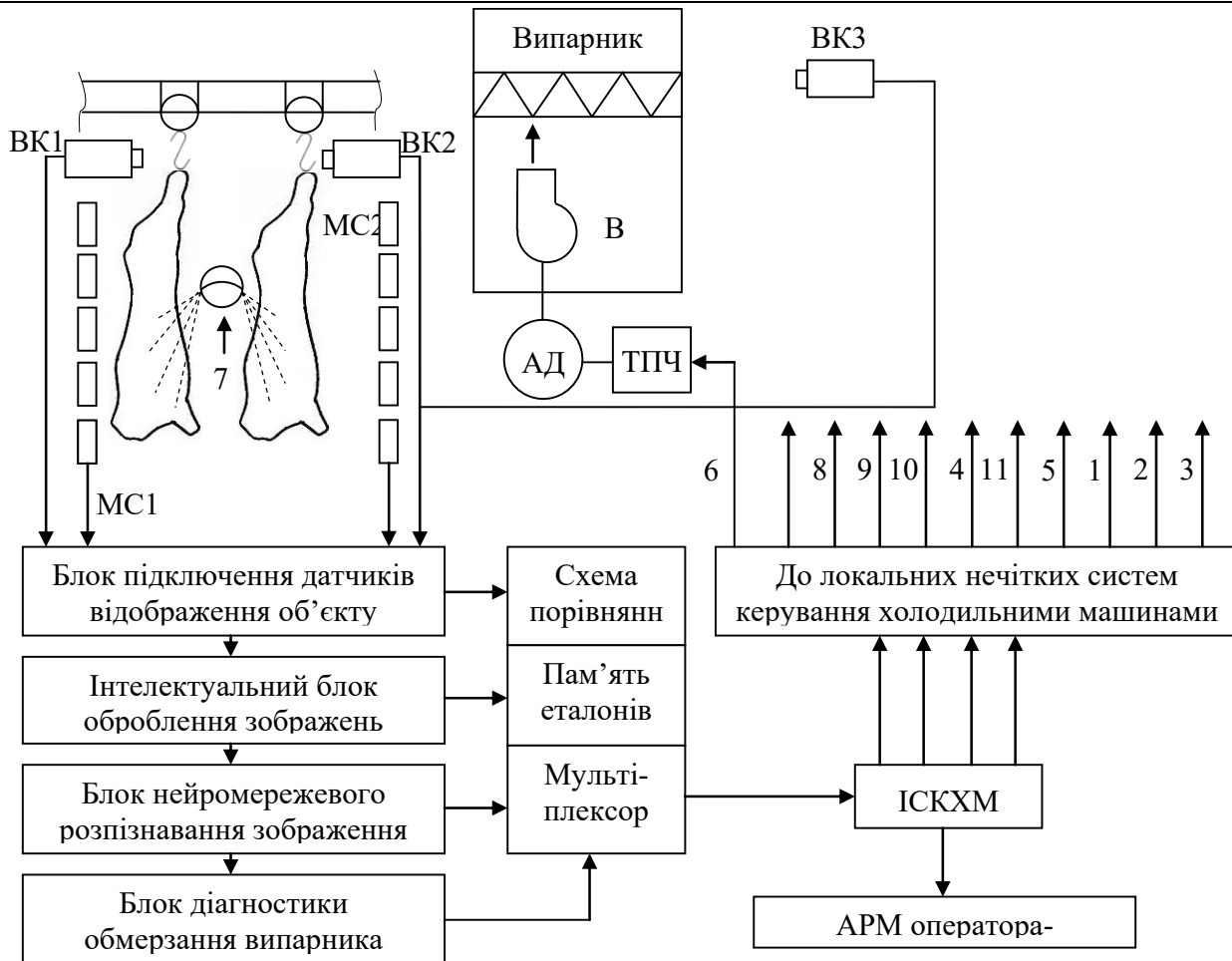


Рис. 1. Інтелектуальна система керування холодозабезпеченням холодильної камери

$$\nu = \text{arc extr} \xi [F_1(\lambda), R_1(\lambda, \nu)], \tag{1}$$

де ξ – міра наближення поточного зображення (відеосигнали з ВК1, ВК2, МС1, МС2) і еталонного зображення з параметрами R (R – еталонний розмір туші ВРХ);

$F_1(\lambda), R_1(\lambda, \nu)$ – функції, які описують геометричні розміри (геометрію) дійсної туші і еталонної відповідно.

Як правило матричний сенсор утворює з’єднання двопозиційних, або пропорційних датчиків, які розташовані на прямокутній решітці.

Положення кожного датчика визначається його адресою, тобто номерами строчки і стовбців, на пересіченні яких знаходиться.

Сукупність адресів з діючих датчиків (які мають стан «1») несуть інформацію про форму, положення і орієнтацію об’єкту, з яким контактує датчик. Якщо в якості об’єкту досліджень обрати форму і геометрію великої рогатої худоби (ВРХ), тоді в якості сенсорів ми можемо використати матричні сенсори, дія яких ґрунтується на п’єзоелектричному ефекті [4, 5]. В цих датчиках в основному використовуються гнучкі полімерні п’єзоплівки. Схема матричного датчика на основі п’єзоелектричної плівки (полівінілфториду) представлена на рис. 2, 3. Мініатюризація електричних елементів і нові технології їх виготовлення дозволили створити багатшарові інтегровані структури, які об’єднуються в одному модулі. Чутливий елемент і електронні пристрої повинні виконувати первинне оброблення сигналів.

Типовим прикладом є багатшарова матриця з п’єзотричним ефектом, яка представлена на рис. 3. Коли в процесі прикладення високочастотної змінної напруги п’єзокристал починає генерувати ультразвукові коливання, то в результаті обчислень можливо отримати інформацію про розміри об’єкта досліджень. Отже одним із варіантів датчика геометрії буде пристрій, який реалізує відлуння-імпульсний метод ультразвукової локації-геометрії тушки ВРХ. Ультразвукові перетворювачі утворюють інформаційну поверхню, на яку може реагувати система керування холодозабезпечення ХК промислового холодильника. Об’єкт ВРХ може перекривати деяке число перетворювачів. Знаючи адресу перекритих перетворювачів, можливо одержати інформацію про площину і геометрію ВРХ (об’єкта). Сенсор дозволяє також визначати і третю координату – висоту об’єкту в точці по заданому адресу. Для цього на ультразвукові перетворювачі послідовно надходять зондуючі імпульси – короткі імпульси (<1 мкс) великої амплітуди (100-150 В). Збуджені цими імпульсами перетворювачі надсилають ультразвукову хвилю. Хвиля розповсюджується через повітря в тіло ВРХ і, досягнувши перелому у вигляді межі між двома середовищами (наприклад, поверхня об’єкту), відіб’ється від нього.

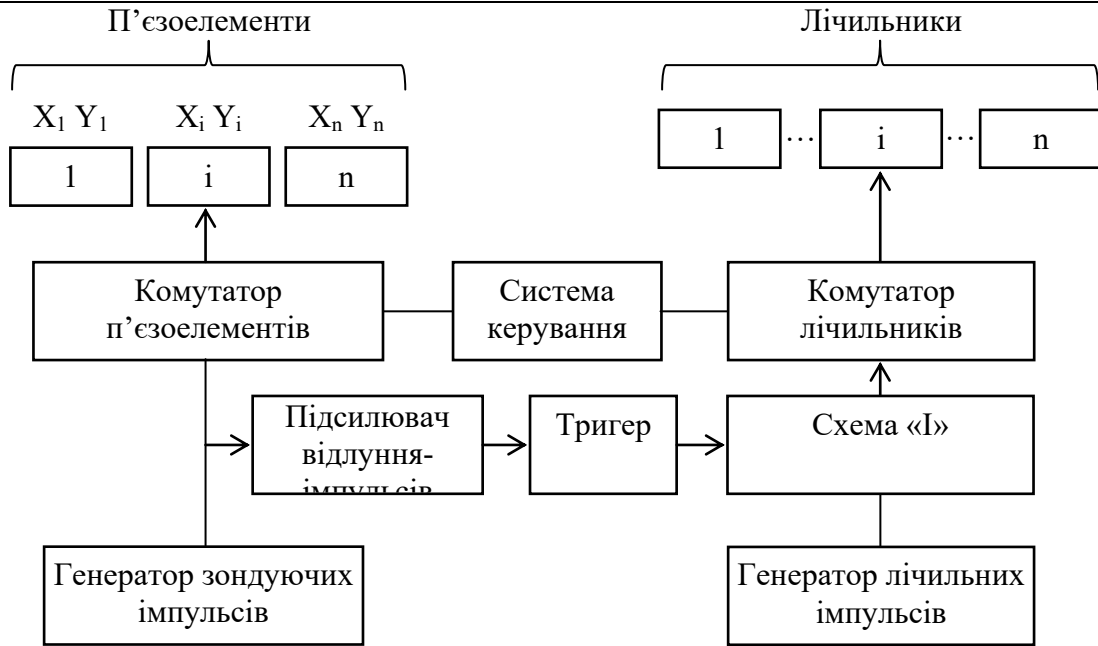


Рис. 2. Блок схема системи керування матричним сенсором

Відбиті ультразвукові коливання будуть прийняті тим же перетворювачем, що приводить до появи відлуння-імпульсів на його виході. При відомій швидкості розповсюдження ультразвукових коливань в матеріалі об'єкта, його висота (Z) в даній точці визначаються співвідношенням $Z = tv/2$, де t – інтервал часу між подачею зондуєчого імпульсу і появи відлуння-імпульсу. Зондуєчі імпульси від генератора надходять послідовно на п'єзодатчики через комутатор. Одночасно зондуєчий імпульс надходить на тригер, формуючи на виході сигнал підвищеного рівня відлуння-сигнал після підсилення також надходить на тригер, скидаючи цей сигнал. Таким чином, довгота вихідного сигналу тригера пропорційна висоті Z об'єкта в точці за адресою X, Y , що визначається комутатором [4]. Для перетворення цієї довготи в цифровий код, імпульс тригера відкриває ключ, через який на вхід відповідного лічильника надходить сигнал, який підключає комутатор. Від високочастотного генератора надходять лічильні імпульси, накопичене число яких до появи відлуння-імпульсів пропорційно висоті об'єкту.

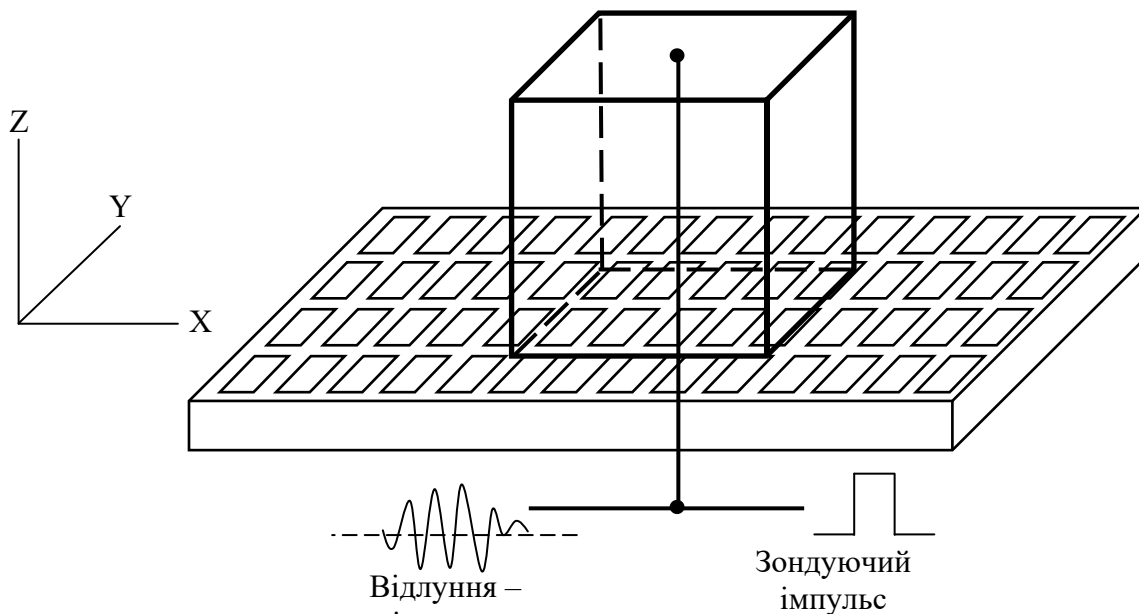


Рис. 3. Матричний сенсор з ультразвуковими чутливими елементами

Перетворювачі та лічильники підключаються на період, який визначає максимально допустиму висоту об'єкта. У відсутності відлуння-імпульсу (об'єкта в даній точці не має) лічильники переповнюються. Сигнал переповнення використовується для скиду лічильника і для комутації наступних сигналів датчика і лічильника. Із блока 4×4 ультразвукових елементів створено матричний датчик, який має 1024 елементів, утворюючих чутливу поверхню 160×160 мм². Сенсор дозволяє функціонувати на високих частотах зондуєчих імпульсів ($10^6 \dots 10^9$ Гц), що визначає його швидкодію.

На рис. 4 наведено систему комп'ютерного зору холодильної камери великої потужності для

заморожування м'яса ВРХ. В системі використано банки експертного зображення ВРХ, та експертну систему і алгоритм розпізнавання обмерзання випарника холодильної камери промислового холодильника.

У системі комп'ютерного зору геометрії туші ВРХ також використано: відеокамери ВК1, ВК2 та систему сенсорів МС, реєстри вхідних даних (РВД), цифро-аналогові перетворювачі ЦАП-АПЦ, мультипроцесор паралельно-конвеєрного обчислювального середовища, алгоритм розпізнавання еталонних і реальних (поточних) моделей зображення туші ВРХ.

Система нейроуправління холодозабезпеченням дозволяє оператору-технологу автоматично керувати інтелектуальними виконавчими механізмами 1, 2, 3, 4, 5. А саме: 1 – холодопродуктивності поршневого компресора із синхронним двигуном першого каскаду; 2 – холодопродуктивності гвинтового компресора із електроприводом АД-ТПЧ; 3 – керування процесом конденсації в системі холодопостачання; 4 – керування витратами холодоагенту; 5 – керування параметрами енергозабезпечення холодильних машин.

Система дозволяє також розпізнавати на основі нечітких моделей процес обмерзання випарника холодильної камери промислового холодильника та надавати команди інтелектуальним виконавчим механізмам 6, 7, 8, 9, 10, 11.

Серед них: 6 – сигнал-команда щодо зміни продуктивності АД-ТПЧ вентилятора В1; 7 – сигнал щодо зміни параметрів вентилятора В2; 8 – зміни режимів роботи тиску холодоагенту у випарнику; 9 – управління параметрами мікроклімату в холодильній камері; 10 – керування тривалістю заморожування м'яса туші ВРХ; 11 – керування процесом диспергування (обмерзання).

Перейдемо до технології контролю геометрії заморожуваного продукту в холодильній камері з відеокамерами ВК1, ВК2 і системами цифро-аналогового перетворювання сигналів (ЦАП) і виведення інформації на монітор оператору-технологу.

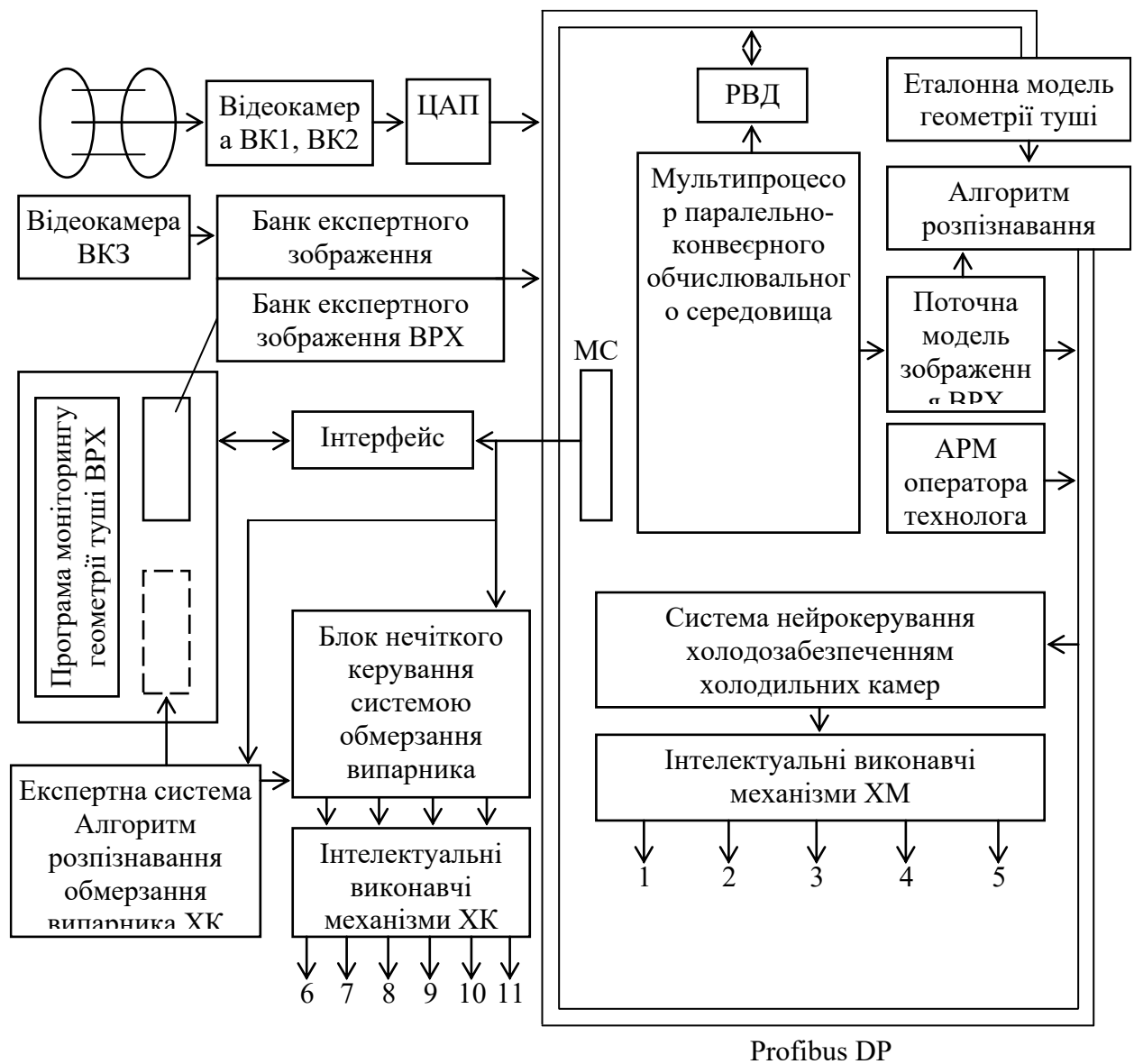


Рис. 4. Система комп'ютерного зору зображення геометрії тіла ВРХ та зображення стану випарника з системами нейрокерування РВД – реєстр вхідних даних з еталонними моделями

У системі керування процесами заморожування та оцінки геометрії тіла ВРХ використано метод нейроуправління з еталонною моделлю (*Model Reference Adaptive Control, Neural Adaptive Control*) [2, 4, 5, 6]. Запропонований підхід до побудови системи керування та контролю параметрів геометрії туші ВРХ дозволяє підвищити якість перехідного процесу часу заморожування, а також мінімізувати втрати якості продукту. Створено банк експертних зображень, який має еталон зображення багатьох ВРХ, і за допомогою алгоритму розпізнавання в системі повинен бути ідентифікований образ геометрії ВРХ у вигляді експертного розміру R [7]. Так як цифрове зображення представляє собою матрицю чорно-білого зображення туші ВРХ шкала градації сірого кольору має довжину від 0 (чорний колір) до 255 (білий колір). Таким чином, на вхід НМ можна подати значення кожного пікселя цифрового зображення ВРХ у вигляді інформаційної матриці векторів. Допустимо, що система навчена розпізнавати 10 зображень ВРХ. Отже, вихідний шар нейронної мережі повинен мати 10 нейронів, кожний з яких «навчений розпізнавати» відповідне тіло ВРХ. Якщо на виході будь-якого нейрона сигнал є максимальним по відношенню до іншого, то тоді цей нейрон є «головним» у системі розпізнавання. Оскільки він зв'язаний з образом визначеного тіла ВРХ із цієї десятки, то ідентифікаційною буде та форма ВРХ, якій відповідає даний нейрон. Відмітимо, що у випадку використання комбінації сигналів з відеокамер ВК1, ВК2, і матричних сенсорів з ультразвуковими чутливими елементами, покращено рівень ідентифікації трьохвимірного простору туші ВРХ за рахунок мультипроцесора та алгоритмів паралельно-конвеєрного обчислювального середовища [5]. Оптимізація параметрів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ для виконання операції заморожування м'яса в системі, забезпечено також за допомогою нечітких систем розпізнавання образів [2, 3]. Нечіткі системи успішно зарекомендували себе для рішення подібних задач керування складними технологічними процесами заморожування хліба, інших продуктів харчування для людей, що мешкають на територіях, що працюють на підприємствах з техногенним забрудненнями [8].

Побудуємо нечітку систему, яка спроектована на правилах з лінгвістичними змінними, схема якої представлена на рис. 5, на вхід системи подається m -мірний вектор \vec{X} . Для кожної компоненти вектора \vec{X} , $i = 1, \dots, m$ в блоці «Ф-фазифікатор» побудований синглітон – однокрапкова нечітка множина.

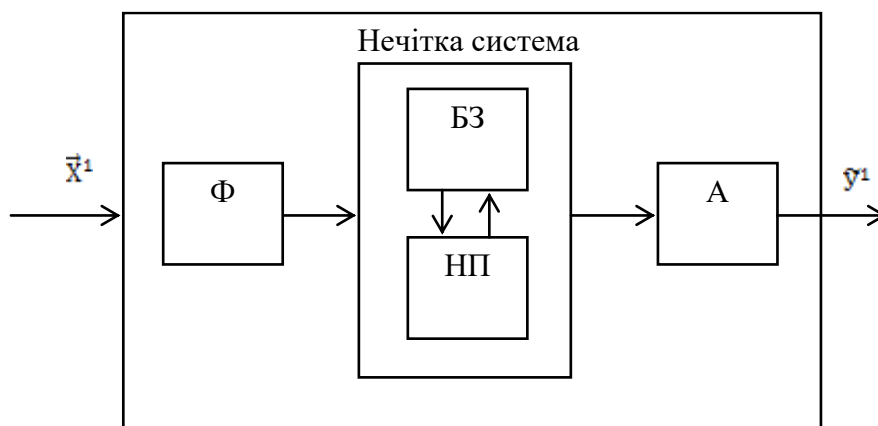


Рис. 5. Схема нечіткої системи розпізнавання з нечітким виведенням сигналів-команд
Ф – фазифікатор, БЗ – база знань, НП – нечіткий процесор, А - аналізатор

На другому етапі виконується оброблення даних за допомогою механізму нечіткого виведення, який складається із бази знань (БЗ) і нечіткого процесора (НП). База знань будується за допомогою нечітких портретів, одержаних на етапі аналізу вибірки прецедентів [2]. Слід відмітити, що стандартний для системи даного типу блок «дефазифікації» відсутній і замінено «аналізатором – А», в якому побудована модифікована нечітка множина Y . Розглянемо спосіб формування бази знань. Кожне її правило відповідає нечіткому портрету, наприклад «обмерз випарника» або портрету «обмерзання випарника». Наприклад, нехай ситуація S_1 – портрет «обмерзання випарника», тоді запишемо:

ПРАВИЛО "S₁":

ЯКЩО " $L_1 \in V_1$ " І, ..., І " $L_i \in V_1$ " І, ..., І " $L_m \in V_1$ ", ТО " $v_1 \in V_1$ "

.....

ЯКЩО " $L_1 \in V_j$ " І, ..., І " $L_i \in V_j$ " І, ..., І " $L_m \in V_j$ ", ТО " $v_1 \in V_j$ "

.....

ПРАВИЛО "S_k":

ЯКЩО " $L_1 \in V_k$ " І, ..., І " $L_i \in V_k$ " І, ..., І " $L_m \in V_k$ ", ТО " $v_1 \in V_k$ "

У нечіткому предикаті " $L_1 \in V_j$ ". лінгвістична змінна, яка відповідає побудованій на етапі експертного аналізу вибірки прецедентів, а V_j – імена класів образів, які відповідають значенням лінгвістичної змінної Кількість нечітких предикатів у полі «ЯКЩО» правила відповідає m інформативним правилам. У полі «ТО» нечітка множина V_j є монотонною функцією, що використовується в алгоритмі нечіткого виведення Цукамото [2, 4, 6]. Прийняття рішень виконується на основі механізму нечіткого виведення. Слід відзначити, що в якості операції «І» на етапі агрегування використана m -місцева логарифмічна функція:

$$f(a_1, a_2, \dots, a_m) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } \exists a_i = 0 \\ \log_2((a_1 + 1), \dots, (a_m + 1)) / m \\ \text{якщо } a_i > 0, i = 1, \dots, m \\ a_i, m = 1 \end{cases} \quad (2)$$

Результатом роботи алгоритму нечіткого виведення є сукупність синглетонів $V_j \sim, j = 1, \dots, k$.

Як було відзначено раніше, в системі використано блок «аналізатор – А», який працює по наступному принципу. На вхід «аналізатора» надходить нечітка дискретна множина $\{V_j | j = 1, \dots, k\}$, де кожний елемент несе інформацію про відповідний образ «обмерзання випарника». Таким чином алгоритм розпізнавання дозволяє на основі «Банку експертного зображення випарника» через інтерфейс надавати «оператору-технологу» інформацію про можливі ситуативні рішення щодо керування процесом відтавання випарника. Таким чином, використовуючи Алгоритм розпізнавання стану випарника та пристрої контролю процесу обмерзання, що базується на використанні штучних нейронних мереж [2, 3, 4, 5, 6]. Автори статті запропонували спосіб і систему автоматизованого керування процесом замерзання (див. рис. 4). В цьому способі керування важливу роль відіграє «Блок адаптивного керування системою обмерзання випарника» та інтелектуальні виконавчі механізми 6, 7, 8, 9, 10, 11. Останні керують вентиляторами випарника В1, В2, клапанами тиску всмоктування, та ультразвуковим диспергатором розморожування випарника (виконавчий механізм 11).

На рис. 6 наведено блок-схему узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильних камер ПРХ.

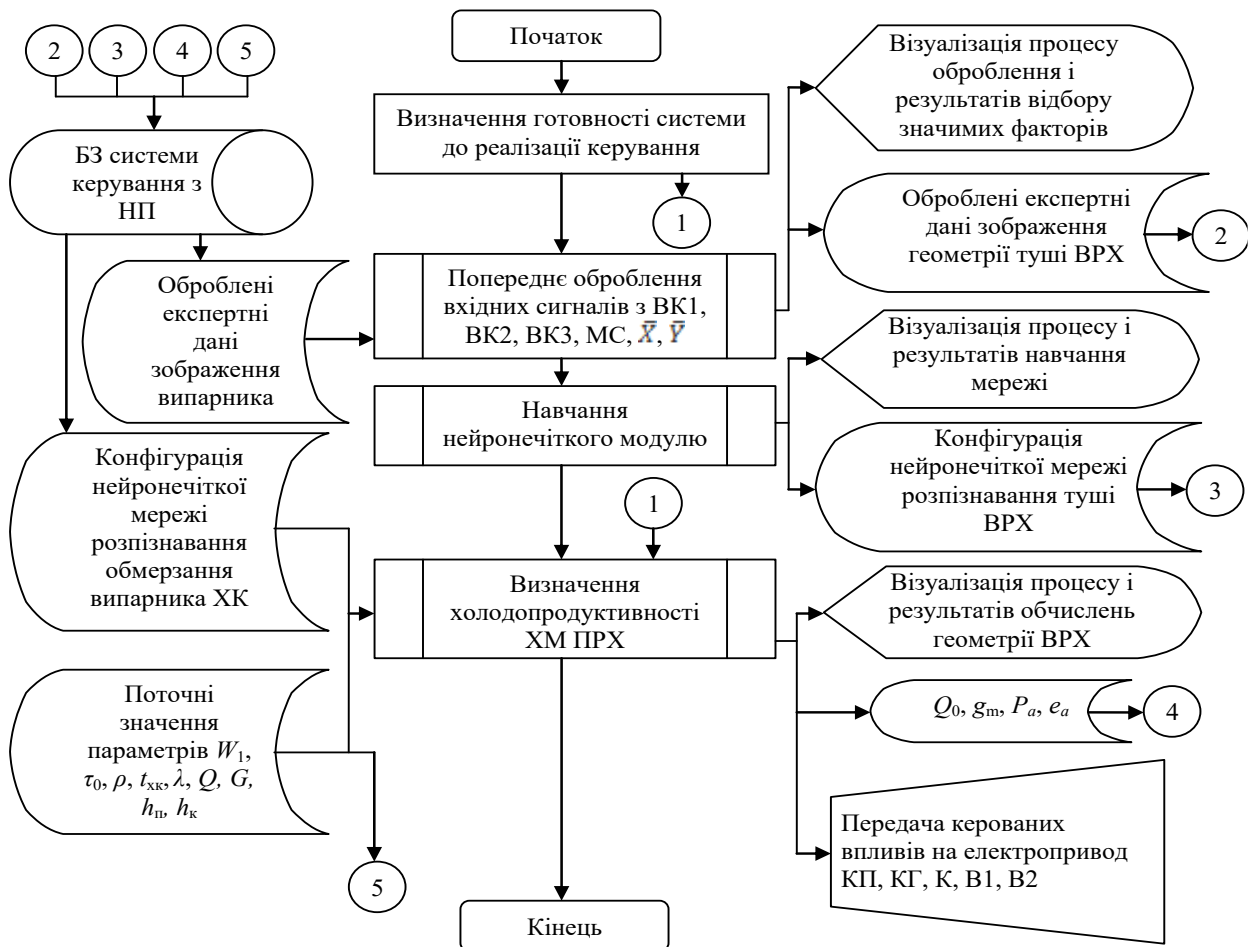


Рис. 6. Блок-схема узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери

На основі розроблених методів керування холодозабезпечення холодильних камер для заморожування м'яса в тушах ВРХ розробимо також алгоритмічне забезпечення системи керування. Воно включає наступні алгоритми: алгоритм попереднього оброблення цифрової інформації, алгоритми відбору значимих ознак, які визначають геометричні розміри туші ВРХ та ознаки обмерзання випарника холодильної камери; алгоритми розпізнавання стану випарника і розпізнавання зображення геометрії туші ВРХ, нейронечіткі моделі керування процесом заморожування, алгоритм розрахунку параметрів (τ_0 – тривалість заморожування, кількість теплоти, відведеної від туші ВРХ – Q_M); алгоритми розрахунку параметрів холодопродуктивності каскаду компресорів КП (компресор поршневий), КГ (компресор гвинтовий), конденсатора, вентиляторів В1, В2; алгоритми розрахунку енергетичної ефективності, алгоритм керування холодильною машиною ПРХ. Серед параметрів, які визначають базу знань технологічного процесу заморожування м'яса виокремимо наступні чинники: τ_0 – тривалість заморожування, с; R – експертний розмір шматка м'яса (геометрія ВРХ), м; ρ – густина охолоджуваного продукту ($\text{кг}/\text{м}^3$); q – питома теплота кристалізації води, $q = 3,3 \times 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$; W – вологовміст продукту ($\text{кг}/\text{кг}$), ω – частка вимороженої води; $t_{кр}$ – криоскопічна температура продукту, $^{\circ}\text{C}$; t_{oc} – температура охолодження середовища холодильної камери $^{\circ}\text{C}$; λ – коефіцієнт теплопровідності заморожуваного продукту, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; Q_M – кількість теплоти, відведеної від продукту під час заморожування, кДж ; G – маса заморожуваного продукту, кг ; h_n, h_k – питомі ентальпії продукту відповідні у початковому та у замороженому стані, $\text{кДж}/\text{кг}$; а також інші параметри \bar{X}, \bar{Y} . Вони визначають: $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ – параметри якості заморожуваної продукції та мікроклімату холодильної камери, а $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3$ – параметри, які визначають ефективність холодабезпечення холодильної камери та енергетичні характеристики компресорних установок [1]. Параметри, які нейромережевий процесор прогнозує оператору-технологу: Q_0 – холодопродуктивність, $\text{кДж}/\text{с}$ або кВт ; g_m – масова витрата холодильного агента; q_0 – питома холодопродуктивність ($\text{кДж}/\text{кг}$); P_a – активна потужність холодильних машин; e_a – питомі витрати електроенергії, b – коефіцієнт робочого часу ХМ.

Система керування процесом заморожування м'яса туші ВРХ працює у відповідності з узагальненим алгоритмом, блок-схема якого представлена на рис. 6. Цей алгоритм є центральним і виконує запуск та зупинку інших алгоритмів. Після запуску системи проходить перевірка її підготовки до реалізації управління і відпрацювання послідовності дій. Оператор визначає необхідність синтезу і навчання нейронечітких алгоритмів розпізнавання в залежності від якості навчання Банку експертного зображення ВРХ та Банку зображення стану випарника або наявності конфігураційних файлів відповідних вагових коефіцієнтів [2]. Формування навчальних вибірок для двох моделей виконується на основі інформації – оброблення експертних даних зображення туші ВРХ і зображення стану випарника, а також на базі знань про параметри технологічного процесу заморожування м'яса туші ($W_1, \tau_0, \rho, t_{кр}, \lambda, Q, G, h_n, h_k$) та оцінки якості продукту, енергетичних параметрів процесу холодозабезпечення тощо. У залежності від типу м'яса (яловичина, телятина, свинина) із бази знань нейронечіткого комп'ютера відбувається завантаження вхідних сигналів для навчання нейронечіткого модуля керування процесом заморожування.

Результати кожного етапу керування візуалізуються для ОПР (особа, що приймає рішення), та надходять в систему нейроуправління інтелектуальними виконавчими механізмами холодильних машин промислового холодильника.

Узагальнені результати експертних оцінок досягнутих показників наведені на пелюстковій діаграмі (рис. 7). Досягнута точність управління процесом заморожування м'яса ВРХ з розпізнаванням геометрії туші та розпізнавання стану замерзання випарника є достатньою для забезпечення енергоефективної роботи холодильних машин і формування необхідних споживчих характеристик м'ясних продуктів.

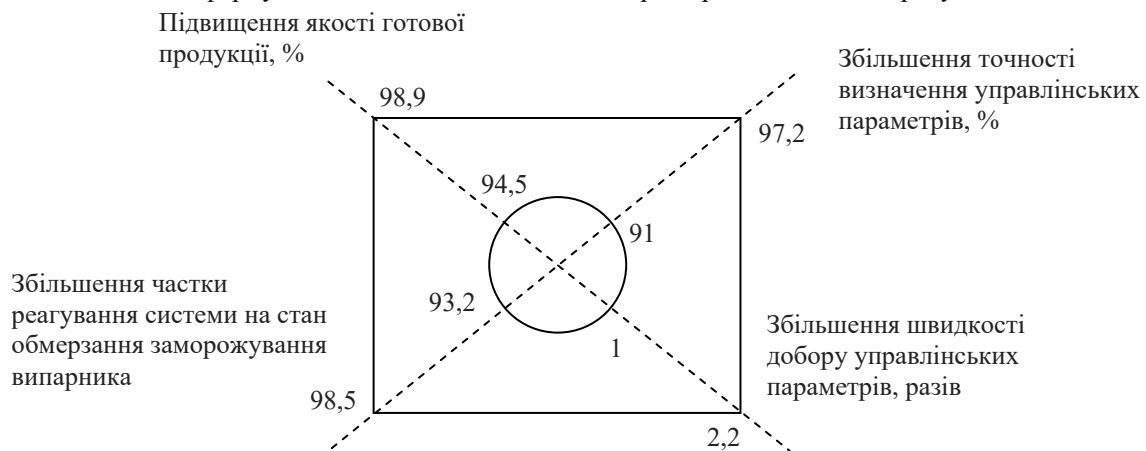


Рис. 7. Результати експертної оцінки ефективності використання інтелектуальної системи процесом заморожування

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблено систему інтелектуальних датчиків контролю параметрів туші м'яса великої рогатої худоби та ознаки стану випарників холодильної камери і системи холодозабезпечення промислового

холодильника. Розроблена Система автоматичного розпізнавання в режимі реального часу визначає:

- геометричні параметри локальних та інтегральних ділянок туші у вигляді параметрів, площини, радіусів, довжини, ширини, кількості точок перегину контурів, геометричного центру елементів зображень;
- постійно аналізує простір ділянок холодильної камери.

Запропоновано інтелектуальну систему нейрокерування холодозабезпеченням холодильної камери, в якій 2 відеокамери та матричні сенсори з п'єзоелементами оцінки форми туші великої рогатої худоби та банк її експертного зображення. Через інтерфейс з підсистеми інформаційного забезпечення система надає оператору-технологу відеоінформацію та автоматично впливає на інтелектуальні виконавчі механізми компресорів, вентиляторів, конденсаторів. Розроблено систему нечіткого керування процесом обмерзання випарника, в якій передбачена експертна система, алгоритм розпізнавання, банк експертного зображення випарника зі сніговою шубою та інтелектуальним механізмом ударного впливу ультразвукових коливань на поверхню приладу охолодження. Наведено узагальнений алгоритм функціонування систем керування холодозабезпеченням холодильної камери промислового холодильника та методику його використання.

Література

1. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейро-нечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування. *Вісник Хмельницького Національного Університету*. 2021. № 6. С. 264–271.
2. Абрамова Т. В., Ваганова Е. В., Горбачев С. В., Сырямкин В. И., Сырямкин М. В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации. Томск : Изд-во Томского гос. ун-та, 2014. 442 с.
3. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта и принятия решений и управления. Киев : Наукова думка, 2002. 418 с.
4. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств : учеб. пособ. Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2012. 608 с.
5. Новейшие методы обработки изображений / А. А. Потапов, А. А. Пахомов, С. А. Никитин и др. Москва : Физматлит, 2008. 496 с.
6. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев и др. Харьков : Основа. 1997. 112 с.
7. Теплохолодотехніка : Навч. посіб. / С. М. Василенко, В. І. Павелко, А. В. Форсюк та ін.; За заг. ред. С. М. Василенко – К. : Ліра-К, 2019. – 258 с.
8. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : Видавець ФО-П Чернявський Д. О., 2021. 312 с.

References

1. Khorolskyi V. P., Omelchenko O. V., Korenets Yu. M., Honcharenko V. A., Petrushyna Yu. M. Kholodozabezpechennia kholodylnykh kamer smart-promyslovykh kholodylnykh iz systemamy neuro-nechitkoho keruvannia protsesamy zamorozhuvannia produktiv kharchuvannia. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2021. № 6. S. 264–271.
2. Abramova T. V., Vaganova E. V., Gorbachev S. V., Syryamkin V. I., Syryamkin M. V. Neiro-nechetkie metody v intellektualnykh sistemah obrabotki i analiza mnogomernoj informacii. Tomsk : Izd-vo Tomskogo gos. un-ta, 2014. 442 s.
3. Sirodzha I. B. Kvantovye modeli i metody iskusstvennogo intellekta i prinyatiya reshenij i upravleniya. Kiev : Naukova dumka, 2002. 418 s.
4. Lukinov A. P. Proektirovanie mehatronnyh i robototekhnicheskikh ustrojstv : ucheb. posob. Sankt-Peterburg : Izdatelstvo «Lan», 2012. 608 s.
5. Novejschie metody obrabotki izobrazhenij / A. A. Potapov, A. A. Pahomov, S. A. Nikitin i dr. Moskva : Fizmatlit, 2008. 496 s.
6. Geneticheskie algoritmy, iskusstvennye neyronnye seti i problemy virtualnoj realnosti / G. K. Voronovskij, K. V. Mahotilo, S. N. Petrashev i dr. Harkov : Osnova. 1997. 112 s.
7. Teplokhodotekhnika : Navch. posib. / S. M. Vasylenko, V. I. Pavelko, A. V. Forsiuk ta in.; Za zah. red. S. M. Vasylenko – K. : Lira-K, 2019. – 258 s.
8. Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Serebrennikov V. M. Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia : monohrafiia. Kryvyi Rih : Vydavets FO-P Cherniavskiy D. O., 2021. 312 s.

Рецензія/Peer review : 22.01.2022 р.

Надрукована/Printed :28.02.2022 р.

ЩЕРБАНЬ В. Ю.

ORCID ID: 0000-0002-4274-4425

e-mail: scherbanvu@ukr.net

КОЛИСКО О. З.

ORCID ID: 0000-0003-4043-1238

e-mail: kipt@i.com.ua

КОЛИСКО М. І.

ORCID ID: 0000-0002-9982-7264

e-mail: kipt@i.com.ua

КИРИЧЕНКО А. М.

ORCID ID: 0000-0003-0041-3799

e-mail: kipt@i.com.ua

Київський національний університет технологій та дизайну

ЩЕРБАНЬ Ю. Ю.

ORCID ID: 0000-0001-5024-8387

e-mail: scherban@i.ua

Київський фаховий коледж прикладних наук

КОМП'ЮТЕРНІ ПРОЦЕДУРИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ПОДАЧІ НИТКИ НА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИНАХ

Використання комп'ютерних процедур програмного комплексу для визначення напруженості процесу подачі нитки на круглов'язальних, двофонтурних машинах дозволяє на початковому етапі визначати технологічні навантаження, які будуть виникати в процесі в'язання полотна дволастичним переплетенням в залежності від виду сировини. Комп'ютерне визначення зміни відносного натягу на круглов'язальних, двофонтурних машинах базується на використанні алгоритму рекурсії.

Ключові слова: комп'ютерні процедури, програмний комплекс, алгоритм рекурсії, подача нитки, круглов'язальні машини.

VOLODYMYR SHCHERBAN., OKSANA KOLISKO, MARJANA KOLISKO, ANTON KIRICHENKO
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
YURYJ SHCHERBAN
Kyiv Professional College of Applied Sciences

COMPUTER PROCEDURES OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR DETERMINING THE TENSION OF THE THREAD SUPPLY PROCESS ON CIRCULAR KNITTING MACHINES

Determining the intensity of the thread feed process on a circular knitting machine for elastic weaves allows you to initially determine the technological loads that will occur during the interaction of the thread with the guides and working bodies depending on the type of raw material, curvature of guide surfaces, thread feed rate. The tension is changed due to the interaction of the threads with the guides of the circular knitting machine for elastic weaves of large and small curvature, tensioning devices. The development of procedures for the computer determination of thread tension on a circular knitting machine for elastic weaves should be based on the use of object-oriented programming languages. Determining the tension and changes in relative tension in the refueling zones of a circular knitting machine for elastic weaves, taking into account the specifics of the design of the thread feed system, will improve the technology of processing raw materials on a circular knitting machine for elastic weaves.

The improvement of technological processes of thread processing on a circular knitting machine for elastic weaves should be based on complex studies of the process of interaction of threads with combined tensioning devices, working guide surfaces of large and small curvature of the feed system. Theoretical dependences for determining the tension will allow to obtain mathematical software used in computer software to calculate the tension and change the relative tension in the refueling zones of circular knitting machine for elastic weaves, reduce the percentage of thread breakage, improve the quality of knitted fabric.

You can reduce the tension of the thread feeding process and reduce the number of thread breaks on a circular knitting machine for elastic weaves by using quality raw materials and optimizing the interaction of threads with tensioning devices on a circular knitting machine for elastic weaves, where there is interaction of threads with surfaces large and small curvature. Thread tension relationships are systems of transcendental equations that require numerical methods to solve.

Keywords: computer procedures, software package, recursion algorithm, thread feed, circular knitting machines.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Визначення напруженості процесу подачі ниток на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень дозволяє на початковому етапі визначати технологічні навантаження, які будуть виникати в процесі взаємодії нитки з напрямними та робочими органами в залежності від виду сировини, кривизни направляючих поверхонь, швидкості подачі нитки. Зміна натягу відбувається за рахунок взаємодії ниток з напрямними круглов'язальної двофонтурної машини для ластичних переплетень великої та малої кривизни, пристроями для натягу. Розробка процедур при комп'ютерному визначенні натягу нитки на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень повинна базуватися на використанні мов об'єктно-орієнтованого програмування. Визначення напруженості та зміни відносного натягу по зонам

заправки круглов'язальної двофонтурної машини для ластичних переплетень, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки, дозволить покращити технологію переробки сировини на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень.

Аналіз досліджень та публікацій

Удосконалення технологічних процесів переробки ниток на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень повинно базуватися на комплексних дослідженнях процесу взаємодії ниток з комбінованими пристроями для натягу, робочими напрямними поверхнями великої та малої кривизни системи подачі [1, 2]. Теоретичні залежності для визначення натягу дозволяють отримати математичне забезпечення [3-7], яке використовується в програмному комп'ютерному комплексі для розрахунку напруженості та зміни відносного натягу по зонам заправки круглов'язальної двофонтурної машини для ластичних переплетень, зменшити відсоток обривів ниток, поліпшити якість трикотажного полотна [5-9].

Недосконала форма лінії заправки нитки на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень, низька якість ниток, при зростанні натягу по глибині заправки, призводить до обривів. Простої круглов'язальної двофонтурної машини для ластичних переплетень, пов'язані з ліквідацією обривів ниток, складають 55-76% від загального часу простоїв [1, 3-8].

Зменшити напруженість процесу подачі нитки та скоротити кількість обривів ниток на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень можна шляхом використання якісної сировини та оптимізацією умов взаємодії ниток з пристроями для натягу на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень, де має місце взаємодія нитки з поверхнями великої та малої кривизни. Залежності натягу ниток мають вигляд систем трансцендентних рівнянь, для розв'язання яких необхідно використовувати чисельні методи [2, 3].

Формулювання цілей статті








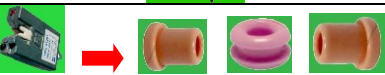

Метою роботи є: розробка комп'ютерних процедур програмного комплексу для визначення напруженості процесу подачі нитки на круглов'язальних машинах.

Виклад основного матеріалу

В таблиці 1 представлені структурні компоненти системи подачі нитки на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень та відповідні процедури.

Таблиця 1

Структурні компоненти системи подачі нитки та відповідні процедури

Ділянка	Загальний вигляд	Процедура
1-2		procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject)
2-3		procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject) procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject) procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)
3-4		procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)
4-5		procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)
5-8		procedure TForm2.N21Click(Sender: TObject)
8-10		procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject) procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject) procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)
10-11		procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject) procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)
11-13		procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject) procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject) procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)
13-14		procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)

Лінію заправки нитки на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень можна умовно розбити на 14 ділянок: 1 ділянка – від бобіни до спрямовувача нитки I; 2 ділянка – від спрямовувача нитки до вхідного отвору контролера обриву нитки; 3 ділянка – від вихідного отвору контролера обриву нитки до спрямовувача нитки; 4 ділянка – від спрямовувача нитки до спрямовувача нитки; 5 ділянка – від спрямовувача нитки до вхідного отвору торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки; 6 ділянка –

від вхідного отвору торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки до циліндричної поверхні пальцевого натягувача; 7 ділянка – від циліндричної поверхні пальцевого натягувача до вихідного отвору торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки; 8 ділянка – від вихідного отвору торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки до вхідного отвору контролера обриву нитки; 9 ділянка – від вхідного отвору контролера обриву нитки до вихідного отвору контролера обриву нитки; 10 ділянка – від вихідного отвору контролера обриву нитки до вертикального накопичувача нитки барабанного типу; 11 ділянка – від вертикального накопичувача нитки барабанного типу до вхідного отвору контролера обриву нитки; 12 ділянка – від вхідного отвору контролера обриву нитки до вихідного отвору контролера обриву нитки; 13 ділянка – від вихідного отвору контролера обриву нитки до вхідного отвору водія нитки; 14 ділянка – від вхідного отвору водія нитки до зони в'язання.

На ділянці 1-2 використовується процедура `procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject)`, яка описує взаємодію нитки направляючою у формі тора. На рис.1а представлений фрагмент програмного коду для комп'ютерної процедури `procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject)`. На ділянці 2-3 нитка взаємодіє з контролером обриву нитки. З таблиці 1 видно, що його можна замінити 3 напрямними. Послідовність виконання процедур `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)`, `procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject)` та `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)` дозволяє визначити натяг після цього контролеру. На ділянках 3-4 та 4-5 відбувається взаємодія нитки з 2 напрямними у формі тора. Повторне виконання процедури `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)` дозволяє визначити натяг нитки перед пальцевим натягувачем. На рис.1б представлений фрагмент програмного коду для комп'ютерної `procedure TForm2.N21Click(Sender: TObject)`. Для визначення натягу на ділянці 5-8 використовуємо процедуру `procedure TForm2.N21Click(Sender: TObject)`. Визначення натягу нитки на ділянці 8-10 проводимо по аналогії з ділянкою 2-3 за допомогою комп'ютерних процедур `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)`, `procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject)` та `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)`.

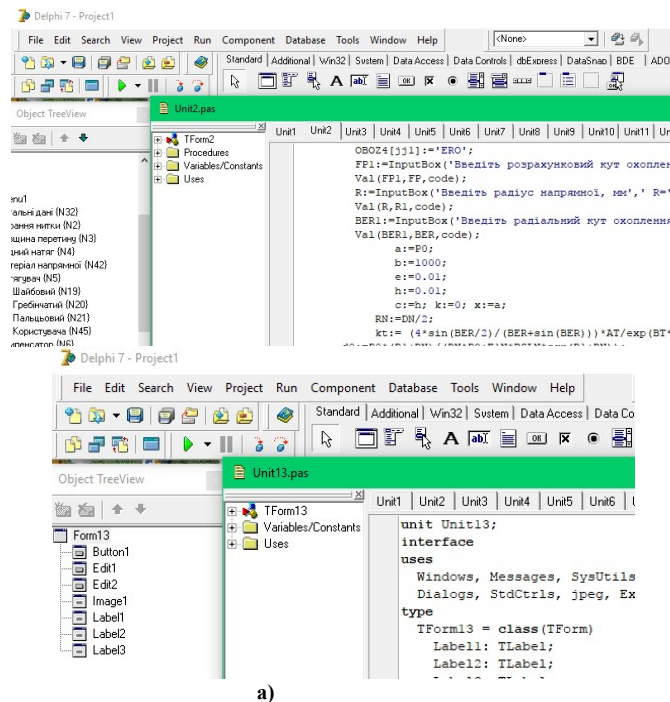


Рис.1. Фрагменти програмного коду: а) для комп'ютерної процедури `procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject)` для напрямної у формі тора; б) для комп'ютерної `procedure TForm2.N21Click(Sender: TObject)` для пальцевого натягувача нитки

Для визначення натягу на ділянці 10-11 використовували процедуру `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)` послідовно два рази. Визначення натягу нитки на ділянці 11-13 проводимо по аналогії з ділянкою 2-3 за допомогою комп'ютерних процедур `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)`, `procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject)` та `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)`. На ділянці 13-14 для визначення натягу використовували процедуру `procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)`.

Реалізація комплексу процедур (таблиця 1) була отримана діаграма зміни відносного натягу нитки на круглов'язальній двофонтурній



Рис.2. Діаграма зміни відносного натягу нитки на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень по ділянках заправки

машині для ластичних переплетень по ділянках заправки, яка представлена на рис.2.

Дана діаграма дозволяє робити висновки про напруженість процесу переробки нитки. Аналіз діаграми показав, що до вертикального накопичувача нитки барабанного типу натяг зростає за рахунок взаємодії нитки з поверхніями конструктивних елементів системи заправки. Після проходження вертикального накопичувача нитки барабанного типу натяг починає знову зростати і досягає свого відносного максимуму в зоні в'язання. Максимальне значення складає майже 1,25 перед 8 зоною. Виходячи з цього можна стверджувати, що накопичувач нитки барабанного типу, виконуючи свою функцію по зменшенню натягу, не виключає можливості обриву на ділянці між 1 та 8 зонами. Після оптимізації лінії заправки аналіз результатів по визначенню напруженості та зміни відносного натягу нитки по зонах на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень показав, що тенденція зберігається як і у випадку до оптимізації. Проте значення відносного натягу значно зменшилися. Так у 7 зоні відносний натяг вже складає 1,1, що майже на 12% менше ніж у випадку до оптимізації. Проведені дослідження дозволили обрати оптимальну форму та геометричні розміри структурних елементів системи подачі нитки на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень і знизити нерівномірність натягу для віскозної пряжі 30 текс.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розробка комп'ютерних процедур програмного комплексу для визначення напруженості процесу подачі нитки на круглов'язальних машинах дозволила зменшити значення відносного натягу по зонам заправки на круглов'язальній двофонтурній машині для ластичних переплетень на 10-12%.

Література

1. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю.Щербань. -К.:Освіта України, 2018.- 533 с.
2. Щербань В.Ю. Базове проектує забезпечення САПР в індустрії моди / В.Ю. Щербань, Ю.Ю. Щербань, О.З. Коліско, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К.:Освіта України, 2018. – 902 с.
3. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S.M. Krasnitsky, V.G. Rezanov..-К.:KNUTD, 2011. -220p.
4. Щербань В.Ю. САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / В.Ю. Щербань, О.И. Волков, Ю.Ю. Щербань. - К.:Бумсервис, 2004. - 519 с.
5. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі/ В.Ю.Щербань, В.Ю.Калашник, О.З.Коліско, М.І.Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). - С.25-29.
6. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2019. – 902 p.
7. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2017. – 745 p.
8. Shcherban V. Warp yarn tension during fabric formation / V. Shcherban, G. Melnyk, M. Sholudko, V. Kalashnyk // *Fibres and Textiles*. – 2018. – volume 25. - №2. – PP.97-104.
9. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // *Technology of the textile industry*. - 1997. - №6. - P.50-54.

References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads / V.Yu.Scherban. -K.: Formation of Ukraine, 2018.- 533 p.
2. Shcherban V.Yu. Basic design support of CAD in the fashion industry / V.Y. Shcherban, Y.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnik, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. - Kyiv: Education of Ukraine, 2018. - 902 p.
3. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S.M. Krasnitsky, V.G. Rezanov..-К.:KNUTD, 2011. -220p.
4. Scherban V.Yu. CAD equipment and technological processes for light and textile industries / V.Yu. Shcherban, O.I. Volkov, Yu.Yu. Shcherban. - К.: Boomservice, 2004. - 519 p.
5. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis // *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. - .2015.Volume 223. Issue 2. pp.25-29.
6. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2019. – 902 p.
7. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2017. – 745 p.
8. Shcherban V. Warp yarn tension during fabric formation / V. Shcherban, G. Melnyk, M. Sholudko, V. Kalashnyk // *Fibres and Textiles*. – 2018. – volume 25. - №2. – PP.97-104.
9. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // *Technology of the textile industry*. - 1997. - №6. - P.50-54.

Рецензія/Peer review : 09.01.2022 р.

Надрукована/Printed :28.02.2022 р.

РУТКЕВИЧ В. С.

e-mail: v_rut@ukr.net

КУШНІР В. П., ОСТАПЧУК О. О.

Вінницький національний аграрний університет

ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ВИВАНТАЖЕННЯ СТЕБЛОВИХ КОРМІВ З ТРАНШЕЙНИХ СХОВИЩ

Розглядається питання підвищення ефективності процесу та технічних засобів для вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ. Зазначається необхідність створення сучасної, високотехнологічної і конкурентоспроможної техніки для тваринницьких підприємств, відповідних типорозмірних рядів ферм при різних технологіях утримання тварин, орієнтуючись на використання швидкозбірних конструкцій та обладнання у блочно-модульному виконанні. Оскільки існує обладнання не відповідає зоотехнічним вимогам до вивантажувачів стеблових кормів: порушується щільність корму в сховищі на глибину до 2–2,5 м, що призводить до повторної ферментації корму та зменшення поживної цінності. Представлені основні напрямки розвитку вивантажувачів стеблових кормів, що направлені на зменшення втрат поживності корму при вивантаженні їх із широкоживаних траншейних сховищ, що є проблемою кормовиробництва. Представлені конструктивні і технологічні виконання та найбільш оптимальний варіант виконання. Зазначено необхідність обладнання даних технічних засобів інтелектуальними (адаптивними) приводами робочих органів з метою зменшення потужності виконавчих гідродвигунів. Створення інноваційних засобів для вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ дозволить забезпечити підвищення рівня механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, якості виконання технологічної операції відокремлення корму від кормового моноліту та зниження собівартості сільськогосподарської продукції. Дані рекомендації по збереженню аеробної стабільності корму в кормовому моноліті та підвищенню ефективності роботи засобів для вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ.

Ключові слова: інноваційні технології, стебловий корм, навантажувач, траншея, привод, робочі органи, потужність, ефективність, продуктивність.

V. RUTKEVYCH, V. KUSHNIR, O. OSTAPCHUK

Vinnytsia National Agrarian University

INNOVATIVE MEANS FOR UNLOADING STEM FEED FROM TRENCH STORAGE

The issue of increasing the efficiency of the process and technical means for unloading stem fodder from trench storage facilities is considered. The need to create modern, high-tech and competitive equipment for livestock enterprises, appropriate size series of farms with different technologies for keeping animals, focusing on the use of prefabricated structures and equipment in block-modular design. Because the existing equipment does not meet the zootechnical requirements for stalk feeders (the density of feed in storage is disturbed to a depth of 2-2.5 m, which leads to refermentation of feed and reduced nutritional value). The main directions of development of stalk feeders are presented, which are aimed at reducing the loss of feed nutrients when unloading them from widely used trench storage facilities, which is an important problem of feed production. Their constructive and technological executions and the most optimum variant of execution are presented. The necessity of equipping these technical means with intelligent (adaptive) drives of working bodies in order to reduce the power of executive hydraulic motors is indicated. The creation of innovative means for unloading stem fodder from trench storage will increase the level of mechanization of loading and unloading operations, the quality of the technological operation of separating feed from the feed monolith and reduce the cost of agricultural products. Recommendations for maintaining the aerobic stability of feed in the feed monolith and increase the efficiency of the means for unloading stem feed from trench storage are given.

Key words: innovative technologies, stem fodder, loader, trench, drive, working bodies, power, efficiency, productivity.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Однією з провідних галузей агропромислового комплексу держав з розвинутою економікою є молочне та м'ясне тваринництво і питання виробництва якісних об'ємних кормів – сіна, сінажу та силосу – набуває важливого народногосподарського значення. Аналіз машинного забезпечення процесів виробництва силосу та сінажу в горизонтальних силососховищах показав, що рівень різноманітних втрат закладених на зберігання рослинної сировини у виробничих умовах часто перевищує 50 % і залежить від відповідності технічних засобів і виконуваних ними процесів.

Відродження вітчизняного тваринництва, здатного конкурувати з закордонним неможливо без застосування сучасних технологій виробництва і засобів механізації [1]. Знос наявної техніки та обладнання на тваринницьких фермах перевищує 90 %, більшість засобів механізації значно поступаються зарубіжним аналогам [2, 3]. Традиційні технології годівлі тварин практично себе вичерпали і не можуть служити базисом для істотного стрибка в нарощуванні обсягів і підвищенні якості продукції. Чітко простежується тенденція, що розвиток багатofункціональної техніки в сільському господарстві веде до перегляду підходів до розробки тваринницької техніки, яка повинна мати конкретну спрямованість на певну групу споживача, бути універсальною і на основі базових зразків забезпечувати необхідний типорозмірний ряд для її найбільш ефективного застосування.

Аналіз досліджень та публікацій

Найбільш перспективними і прогресивними технологіями закладки, зберігання і використання стеблових кормів (силосу, сінажу), що складають 40-50 % раціону великої рогатої худоби в стійловий період, є механізовані технології на основі траншейних сховищ [4]. При використанні даних сховищ необхідно на всіх стадіях від заготовки до згодовування тваринам усунути втрати корму, зберегти його високі поживні якості. З цих позицій слабою ланкою в технологічній ланці годування тварин є операція виїмки корму зі сховищ. Вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ є досить трудомісткою і специфічною операцією, яку необхідно проводити щодня протягом не менше 6 місяців на рік, саме тому на ці операції припадає від 25 до 35 % від усіх трудовитрат при виробництві молока та м'яса [4].

Проблема механізації вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ стоїть давно. Тому існує достатньо-велика кількість конструкцій та розробок навантажувачів неперервної та періодичної дії, досліджень з вивчення особливостей взаємодії робочих органів з матеріалом, обґрунтування їх геометричних і кінематичних параметрів. В наукових працях дослідників описано способи розвантаження траншейних сховищ, наведено характеристику навантажувачів для вивантаження силосу та сінажу, визначено основні зоотехнічні вимоги до показників кормів, представлені класифікації навантажувачів для блочно-порційного вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ, а також намічені основні напрямки розвитку конструкцій робочих органів вивантажувальних засобів.

Одним із напрямків розвитку є вдосконалення конструкції ріжучого органу та розробка енергоефективного привода його робочих органів [5-8].

Світовий та вітчизняний досвід у галузі навантажувальних засобів для вивантаження силосу та сінажу з траншейних сховищ базується на результатах досліджень особливостей взаємодії робочих органів з матеріалом, обґрунтувань їх геометричних та кінематичних параметрів [6]. Особливу увагу приділяють адаптивним гідравлічним приводам, які дозволяють створювати енергоефективне обладнання, шляхом швидкого переналагодження режимів роботи робочих органів від технологічного навантаження, яке змінюється в широкому діапазоні [7].

Аналітичні та експериментальні дослідження навантажувальних засобів безперервної дії проводили Волосевич Н.П., Семенихін А.М., Белов В.П., Кутлембетов А.А., Хворостян Л.І., Нагорський І.С., Кісельов А.В. та інші [4,5]. При цьому ними розглядалися питання різання та подрібнення частинок корму.

Розробці та обґрунтуванню параметрів робочих органів для блочно-порційного вивантаження з ріжучими елементами присвячені роботи Дубініна В.Ф., Попова В.Г., Павлова І.М., Толкалова А.А., Руткевича В.С., зарубіжних авторів Pirkelmann H., Maier L та інших [4, 7, 8].

Враховуючи те, що на сучасному етапі розвитку сільськогосподарське виробництво не має достатнього фінансування, а значить і матеріально-технічного обладнання, підвищувати інтенсивність його розвитку можна насамперед через ресурсозбереження у сфері матеріальних, трудових та енергетичних витрат. Оскільки корма є одним із найважливіших факторів, що впливають на виробництво продукції тваринництва, розробка ресурсозберігаючих технологій та технічних засобів у кормовиробництві є актуальним завданням.

Формулювання цілей статті

Мета роботи – підвищення ефективності технологічного процесу блочного вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ за рахунок вдосконалення технічних засобів для відокремлення та вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ.

Виклад основного матеріалу

В даний час існує велика різноманітність конструкцій навантажувачів безперервної та періодичної дії, а також досліджень по вивченню особливостей взаємодії робочих органів з кормовим матеріалом [9]. Щоб зберегти анаеробну стабільність стеблових кормів та покращити якість зрізу в траншеї, необхідно проводити виїмку корму за певною технологією та за допомогою певної техніки. Вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ без порушення цілісності моноліту відіграє одну з ключових ролей у запобіганні погіршенню поживної цінності та псування корму внаслідок його окиснення та повтоної ферментації.

Добитися якісного вирізу блок-порції від кормового моноліту можна за допомогою сучасних механізмів, вони не повинні викликати розпушення зрізу. Для отримання високоякісного силосу або сінажу на стадії згодовування необхідно особливо ретельно підходити до виїмки корму. Головна вимога при вивантаженні стеблових кормів з траншейного сховища - запобігання доступу повітря до кормового масиву.

Проведений аналіз механізованих засобів вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ дозволив виявити основні типи технічних засобів: вила, стріла з грейферним захватом, фреза, гребінка, механізми для відрізання блоків.

Функціональну схему вивантаження та роздачу стеблових кормів представлено на схемі рис.1.

У сільськогосподарській практиці України на виїмці стеблових кормів з траншейних сховищ застосовуються грейферні та фронтальні навантажувачі (рис.2).

Робота цих вивантажувальних засобів ґрунтується на способі відділення порцій корму відривом. Вказані машини, маючи досить високу продуктивність, універсальність, надійність, маневреність, застосовуються повсюдно, хоча і не відповідають агрозоотехнічним вимогам у плані збереження щільної

поверхні залишаючого в сховищі кормового масиву. Вони розпушують поверхню кормового масиву на значну глибину і створюють умови річної ферментації цінного та дорогого корму, зниженню поживності корму на 8-13 %, сухої речовини до 30 %, каротину 40-60 %, перетравного протеїну на 6-8 %, вміст аміаку підвищується в 2,5-3 рази [7, 9]. У зв'язку з цим фронтальні та грейферні навантажувачі з серійними робочими органами не можна вважати ефективними на дані технологічні операції та необхідно розглядати їх застосування як вимушений захід. Тому цілком своєчасно та актуальною для України є завдання розробки та якнайшвидшого виробництва навантажувальних засобів для виїмки кормів з траншейних сховищ.

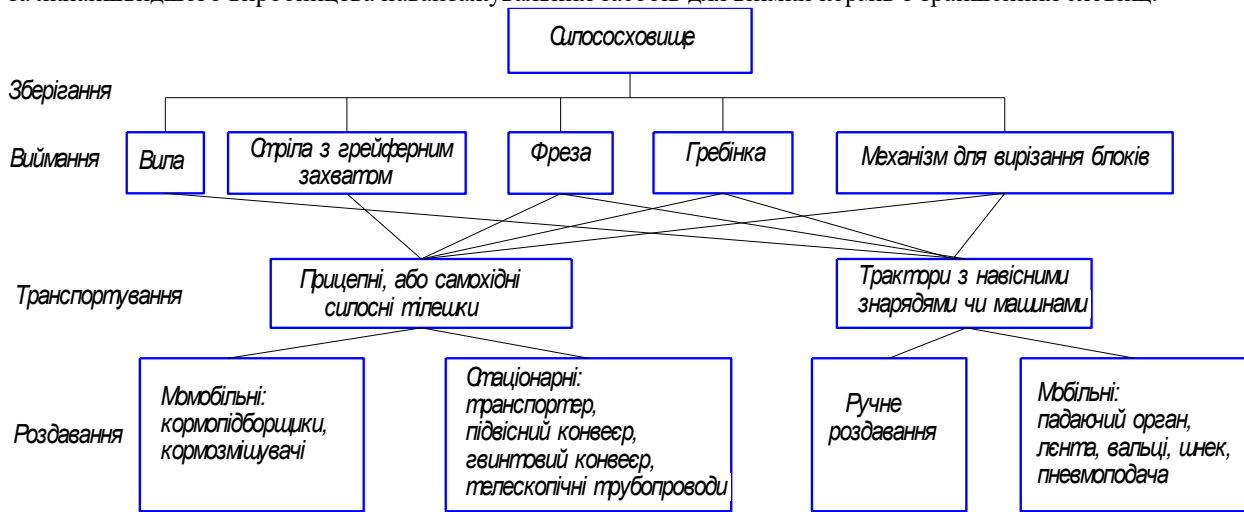


Рис. 1. Функціональна схема вивантаження та роздачі стеблових кормів



Рис. 2. Вивантаження стеблових кормів з траншейного сховища:

а) навантажувачем-екскаватором ПЕ-0,8Б, б) фронтальним навантажувачем з грейферним захватом та вигляд поверхонь технологічної зони після виймання

Навантажувальні засоби з виловним захватом та грейферним робочим органом є класичним знаряддям для завантаження стеблових кормів у кормороздавачі [9]. Дані навантажувальні засоби досить широко розповсюджені у провідних європейських країнах та інших країнах з розвиненим тваринництвом. Основними фірмами, що випускають дані навантажувальні засоби є BvL, Stoll, Holaras, Kock, Vaas-Trima та інші.

Технічну характеристику найбільш використовуваних навантажувачів періодичної дії представлено в табл. 1.

Технічна характеристика навантажувачів періодичної дії

Показники	ПЕ-0,8Б	ПГ-0,2А	ПЕА-1,0	ПКУ-0,8
Вантажопідйомність, кг	800	200	1000	800
Продуктивність на вивантаженні силосу, т/год	до 60	до 30	до 120	до 20
Висота завантаження, м	3,6	2,7	4,3	3,6
Вага навантажувача, кг	1950	1080	8000	780

Для вивантаження стеблових кормів із горизонтальних траншейних сховищ все частіше використовуються навантажувачі безперервної дії, які працюють за принципом поступового відокремлення корму робочими органами, які можуть бути фрез барабанні, скребкові, ланцюгово-пластинчасті [4]. Вони можуть бути начіпні, напівначіпні та причіпні. До переваг таких навантажувачів можна віднести: високу продуктивність, гладку поверхню після зрізу, додаткове подрібнення, можливість вивантаження корму із сховищ висотою п'ять і більше метрів, що робить їх незамінними на великих фермах, автоматизацію процесу вивантаження, а також можливість використання базового трактора на інших сільськогосподарських роботах.

Принцип роботи вивантажувачів безперервної дії майже однаковий. Подрібнювальний пристрій, переміщуючись зверху до низу, відокремлює від моноліту кормову масу і подрібнює її, або без подрібнення. Подрібнений матеріал засмоктуються вентилятором, який подає його напірним кормопроводом у транспортний засіб.

В Україні найбільш вживаними є навантажувачі ПСК-5А та ПСС-5,5 (рис.3). Використання таких машин відповідає зоотехнічним вимогам вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ.

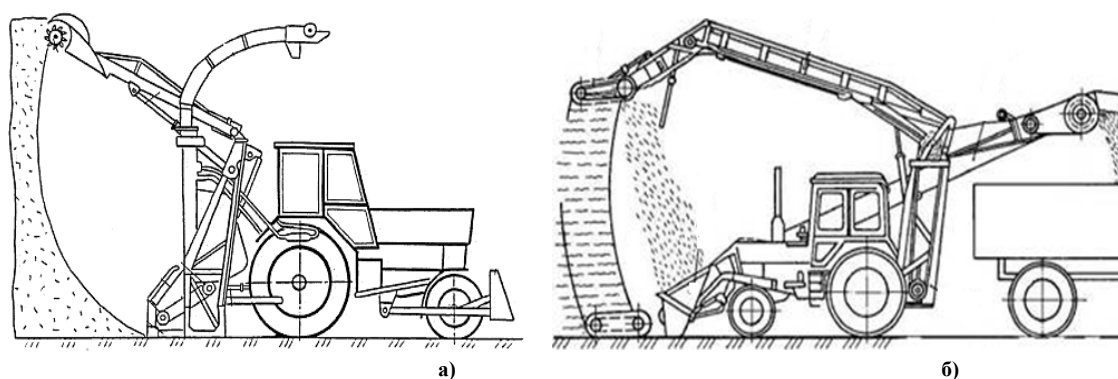


Рис. 3. Навантажувальні засоби безперервної дії:
а) навантажувач ПСК-5А, б) навантажувач ПСС-5,5

Технічну характеристику навантажувачів ПСК-5А та ПСС-5,5 наведено в табл. 2.

До суттєвих недоліків навантажувачів безперервної дії можна віднести необхідність частої зміни позицій (практично після кожного проходу робочого органа), необхідність холостого ходу при його підніманні, що призводить до зменшення продуктивності, значну енергоємність процесу, а також те, що дані навантажувачі не випускаються в даний час.

Таблиця 2

Технічна характеристика навантажувачів ПСК-5А та ПСС-5,5

Показники	ПСК-5А	ПСС-5,5
Продуктивність за час чистої роботи при висоті 5 м, т/год:		
на силосі із трав	6	40
на сінажі	5	25,5
Ширина захвату відокремлювачів, мм	1200	1400
Кругова швидкість робочого органа, м/с	15-20	18
Ступінь доподрібнення корму, %	2,15	1,63
Максимальна висота забору маси, м	5	5,5
Максимальна висота навантаження, м	4	3,5
Ширина захвату відвала бульдозера, м	2	2,2
Гранична потужність, кВт/кг	2,16	0,23-0,29
Вага, кг	1525	2300
Агрегатуються з тракторами	МТЗ-80/82	МТЗ-80/82

Згідно досліджень А.М. Семенихіна різних конструкційно-технологічних виконань навантажувачів стеблових кормів, які відокремлюють блок-порцію корму від кормового моноліту різними способами (відривом, фрезеруванням і згрібанням) отримані наступні дані, наведені у табл. 3 [8].

Таблиця 3

Залежність енергоємності процесу відокремлення корму в залежності від методу

Корм	Вологість, %	Щільність, кг/м ³	Відрив, Дж/кг ПЭ-0,8	Фрезерування, Дж/кг ПСК-5,0	Згрібання, Дж/кг ПСЭ-20
Силос кукурудзи ³	78,6	760	84	3400	260
Сінаж із люцерни	61,4	580	93	3710	290

З аналізу таблиці 3 видно, що по затратах енергії, порівнюючи з відривом маси, процес фрезерування програє в 40 раз, а процес згрібання програє втричі. Слід зазначити, що фрезерування призводить до додаткового подрібнення корму та швидкому його вивітрюванню. На даному етапі не має такої необхідності, а використання енергоємних вивантажувальних засобів пов'язано в основному з формуванням чіткого зрізу корму без його розрихлення.

В останні роки у закордонній практиці спостерігається тенденція до поширення навантажувачів, які забезпечують само завантаження стеблових корму у змішувальні засоби. Навантажувач стеблових корму Gonella (рис. 4), дозволяє зберегти до 40% енергії силосу у процесі якісного вивантаження. Навантажувач силосних мас Gonella мінімізує ці втрати та додатково, будучи самохідним навантажувачем, прискорює завантаження змішувача та форсує процеси доставки корму в тваринницькі приміщення.



Рис. 4. Навантажувач стеблових корму Gonella

Головні переваги навантажувача Gonella:

Рівний зріз. Ріжучий барабан навантажувача в процесі вивантаження залишає рівну стінку силосної маси, що забезпечує збереження якості ущільнення і запобігає проникненню кисню в корм, що залишився, таким чином запобігає повторній ферментації.

Збереження структури корму. Фрезерний барабан з сегментними ножами працюючи на низьких оборотах і великій глибині забору (0.4м.), забезпечує щадний вплив на масу і зберігають його структуру.

Висока швидкість вивантаження. Продуктивність ріжучого барабана та скребкового транспортера-завантажувача дозволяють забезпечити вивантаження від 35 до 45 тонн силосної маси на годину, що значно прискорює процес приготування корму і є важливою складовою при годівлі великої кількості корів.

Точність завантаження силосу. Завантаження вибраної маси скребковим транспортером дозволяє забезпечити точність дозування та мінімізує вибір зайвого силосу.

Немає переподрібнення. За рахунок унікальної системи ріжучого барабана корм при виїмці не переподрібнюється і зберігає свою структуру.

Економія ресурсів. Витрати на виїмку силосу із завантажувачем значно менші.

В даний час велика кількість фірм (Kolaszewski Company, BvL, Triolet та Emily) пропонують широкий асортимент додаткового обладнання для навантажувачів, в тому числі для вивантаження силосу (рис. 5) [6]. Особливістю даного обладнання є наявність розвантажувального механізму у вигляді шнека 5 та транспортера 6 у механізмі для відділення блок-порції, що дозволяє використовувати дане обладнання для роздавання корму тваринам.

Використання обладнання для вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ фірм BvL, Triolet та Emily (рис. 5) дозволяє повністю механізувати даний технологічний процес. Змінне робоче обладнання навішується на стрілу фронтального чи телескопічного навантажувача і дозволяє вивантажити його з різної висоти залягання, з можливістю до подрібнення, завантаження його в змішувач-роздавач з горизонтальним чи вертикальним шнеком, а також індивідуальне транспортування в кормовий коридор та роздачі для згодовування тваринам.

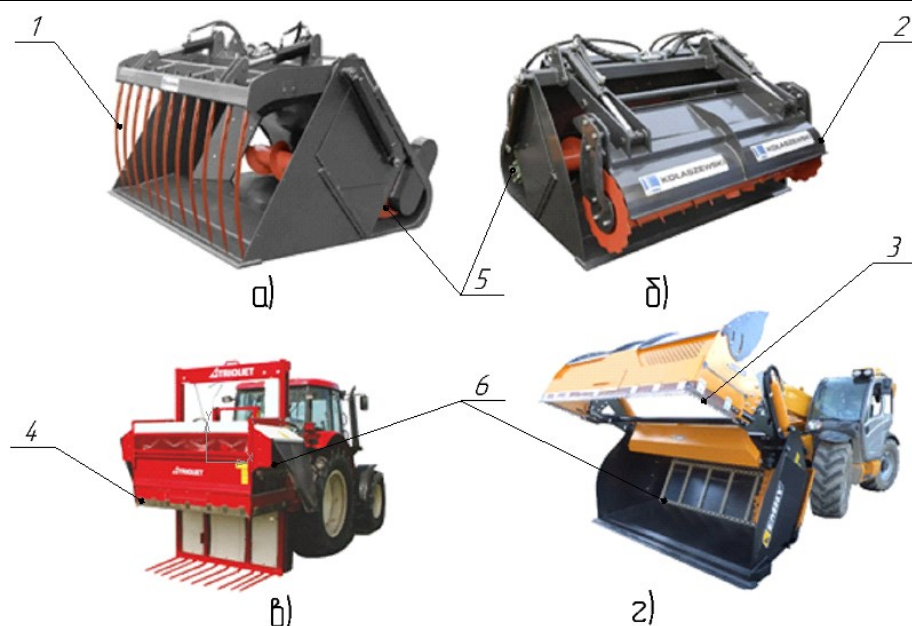


Рис. 5. Механізми для відокремлення стеблового корму від кормового моноліту з можливістю роздавання корму тваринам: а), б) фірми «Kolaszewski Compaу», в) фірми «Trioliet», г) фірми «Emily»; 1-вилочний захват, 2-фрез-барaban, 3, 4-різальний механізм, 5-вивантажувальний шнек, 6-вивантажувальний транспортер

У сільськогосподарському виробництві більшості провідних європейських країнах широкого поширення набув спосіб блочно-порційного вивантаження силосу вирізанням порціями у вигляді прямокутних призм. При ньому зменшуються втрати корму через повторну ферментацію, оскільки не порушується цілісність масиву, що залишається в сховищі, і по вертикальній, і по горизонтальній поверхні. Все це робить останній спосіб найбільш перспективним. Проте досліджень навантажувальних засобів такого типу у вітчизняній практиці недостатньо. У зв'язку з цим створення економічних високопродуктивних засобів для вивантаження стеблових кормів, що повною мірою відповідають агрозоотехнічним вимогам, є актуальною науковою проблемою народногосподарського значення, вирішення якої забезпечить підвищення рівня механізації вантажно-розвантажувальних робіт, якості кормів і зниження собівартості сільськогосподарської продукції [5].

Вирізаючі механізми «алігаторного» – відкусуючого типу випускають такі провідні європейські та американські фірми: Stoll, Strautmann, Seko, BvL van Lengerich, Bressel und Lade, Redrock Alligator, V. d. Heid, Vicon, Kuhn, Fella, Trioliet, Henrich Schaffer, Emily, Lucas. G, Jeantil, Belair, Agm, Triolet, Gehl, Maddelande, Parmiter, Vaas та інші.

Поширенню механізмів для відрізання блок-порцій стеблового корму від кормового моноліту всіх видів сприяє той факт, що саме вони забезпечують найбільш високу відповідність зоотехнічним вимогам до стану технологічної поверхні відокремлення корму, а також відповідають наступним вимогам [9]:

- можливість використання їх в комплексі машин для вантажопідйомних процесів, чи роздачі корму на великих фермах промислового типу;
- забір корму із траншей з глибини до 5,5 м і вивантаження на висоту до 3,5 м;
- експлуатація при температурі $\pm 30^{\circ}\text{C}$ і в умовах кислотності 3,6 рН;
- забір корму вологістю 40–80%;
- вибір корму як від стінок, та і з дна без застосування ручної праці.

Найбільшого поширення набули вирізаючі механізми «алігаторного» – відкусуючого-типу (рис. 6).

Дані механізми для відокремлення блок-порції стеблового корму з траншейного сховища працюють за таким принципом: вила 2 під напором енергетичного засобу горизонтально впроваджуються в кормовий моноліт, після чого включаються гідроциліндри 5, які приводять в рух рамку 6 з ножами 3, ріжучий механізм вирізає із масиву силосний блок відповідно до конфігурації несучих vil. Після чого вила піднімаються, виймаючи при цьому блок із силосованої маси, який переноситься вивантажувачем на вилах в тваринницькі приміщення або вивантажується в кормозмішувач.



Рис.6. Вирізаючий механізм «алігаторного» – відкусуючого типу: 1-рама, 2-вила, 3-ніж, 4-вісь, 5-гідроциліндр, 6-П – подібна рамка

До переваг механізмів «алігаторного» типу можна віднести малу тривалість операції різання порції корму, в залежності від виду стеблового корму і конструкції ріжучого ножа – пряма або із зубами, цей процес може становити 5–15 с. До основних недоліків даних навантажувачів можна віднести значні зусилля різання, що призводить до збільшення параметрів рами, зубів і, в свою чергу, до збільшення металоємності конструкції, потужності привода [10, 11].

Загальні технічні характеристики деяких навантажувачів «алігаторного» типу наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Технічна характеристика навантажувачів «Алігаторного» типу

Фірма, модель	Об'єм блоку, м ³	Розмір блока: ширина/довжина/висота, мм	Навіска	Кількість вил	Ріжуча кромка	Маса, кг
Parmiter SG(P) 100	0,64	1,04/0,76/0,8	фронт.	9	з зубами	320
Howard 390-S	0,80	1,16/0,8/0,85	фронт.	10	з зубами	380
Baas SZ 1500	1,0	1,5/0,8/0,82	фронт.	11	гладка	430
Stoll 1,9m	1,28	1,9/0,8/0,85	фронт.	16	з зубами	730
V.d. Heide Sh 2100V	1,70	2,1/0,8/1,05	фр./зд.	17	з зубами	560
Strautmann 235	1,90	1,58/0,92/1,3	задня	12	з зубами	1050
Redrock Alligator 160	2,00	1,6/0,8/1,3	фр./зд.	-	з зубами	910
BvL F 180	2,25	1,8/0,96/1,3	фронт.	13	з зубами	900

Стан поверхні моноліту стеблового корму після відокремлення блок-порції (рис. 6) свідчить, що по даному показнику метод відрізання блок-порції значно перевищує інші існуючі на сьогодні методи вивантаження стеблових кормів.

Використання механізмів для відокремлення та вивантаження стеблових кормів на базі фронтального чи телескопічного навантажувача є не від'ємною складовою автоматичної кормової системи годування ВРХ (рис.7) [12].

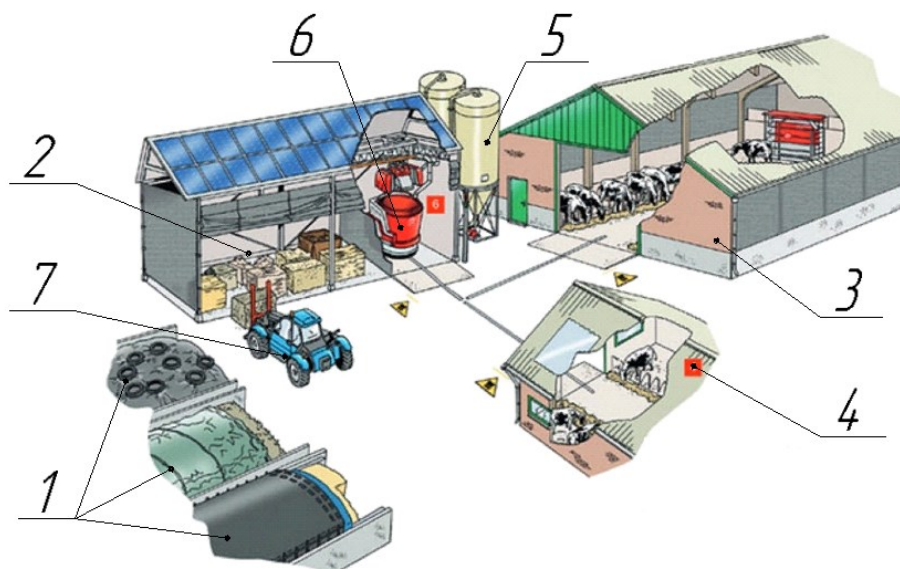


Рис.7. Автоматична кормова система для ВРХ:

1–силосна траншея, 2–область підготовки кормів до згодування тваринам,
3–корівник, 4–молодняк, 5–комбікорм і мінеральний корм, 6–змішувач і кормовий робот (Lely Vector)
7– навантажувач стеблового корму

За допомогою навантажувача стеблових кормів 7 (рис. 7) здійснюється відокремлення, вивантаження та транспортування блок-порції стеблового корму до підготовчого майданчика 2 де створюється певний запас корму який в подальшому автоматично завантажується в змішувач і кормовий робот Lely Vector 6. Кормовий робот Lely Vector підключений до електромережі, що живиться від сонячних батарей та рухається по металевих направляючих, з допомогою ультразвукових датчиків переміщується вздовж кормового столу і розподіляє по ньому раціон з корму.

Використання швидкозмінних робочих органів на фронтальному чи телескопічному навантажувачі

робить їх незамінними на відгодівельних комплексах та дозволяє використовувати енергетичний засіб на різних технологічних операціях.

Механізми для вивантаження стеблових кормів, які зараз застосовуються на підприємствах України, як і інші вітчизняні сільськогосподарські машини, оснащені гідроприводами постійної витрати, які не відповідають сучасним вимогам по швидкодії, надійності, енергоспоживанню, що ставляться до даних машин [10, 11]. Основним недоліком таких приводів є значні втрати потужності при необхідності виконання точних переміщень чи регулювання витрати робочої рідини, що подається на виконавчі робочі органи (гідродвигуни). Окремі непов'язані між собою гідродвигуни привода різального механізму відокремлювача та гідроциліндра приводів подачі призводять до використання гідродвигунів завищеної потужності [7-10]. В результаті чого потужність кожного з приводів даних машин зростає до 25 кВт при умові визначення розрахунковим та експериментальним шляхом максимально необхідної потужності привода різального механізму відокремлювача в межах 4,5–6,0 кВт, а привода подачі – до 0,8 кВт [10]. Саме тому провідні світові виробники гідравлічного обладнання фірми Parker Hannifin, Bosch Rexroth, Bucher Hydraulics, Hunger Hydraulik, Turbo, Moog і інші, приділяють значну увагу розвитку «інтелектуальних приводів», їх проектуванню та модернізації існуючих [11].

Як правило, основною проблемою, яка виникає при незалежному одночасному регулюванні швидкостей декількох робочих органів гідроприводу, є надмірний рівень енергетичних втрат і неприпустимо низький ККД гідросистеми [7, 10, 11].

Враховуючи перспективність та актуальність даних механізмів для відокремлення та вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ виникає необхідність подальшого удосконалення їх конструкцій. Перспективним на сьогодні є напрям зниження енергоємності мобільних машин, що характерно для машин закордонного виробництва. Гідроприводи даних машин повинні працювати в широкому діапазоні швидкісних режимів руху робочих органів та мати адаптивну систему керування, чутливу до зміни навантаження на робочому органі [13].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

З проведеного аналізу механізованих технологій вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ, у вигляді блок-порції можна сказати, що вивантаження стеблових кормів в Україні базується на використанні зоотехнічно неприйнятних технологій, пов'язаних з використанням морально і фізично застарілої техніки. Вирішення даної проблеми можна досягти декількома шляхами:

- 1) залучення провідних європейських та американських фірм на сільськогосподарський ринок України;
- 2) закупівля імпортової техніки (найімовірніше вживаної) вітчизняними сільськогосподарськими підприємствами;
- 3) створення вітчизняних аналогів імпортованих засобів механізації на базі теоретичних розробок і використовуючи при цьому промисловий потенціал України.

Створення інноваційних засобів для вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ, на основі вивчення трьох основних складових (об'єкта дослідження – стеблових кормів, предмета дослідження – робочого органа механізму для відокремлення блок-порції від кормового моноліту та затраченої потужності на привод робочих органів) дозволить забезпечити підвищення рівня механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, якість виконання технологічної операції відокремлення корму від кормового моноліту та зниження собівартості сільськогосподарської продукції.

Література

1. Ratushna N. Методичні підходи до створення нової сільськогосподарської техніки у відповідності з вимогами ринку наукоємної продукції / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // MOTROL. – 2007. – № 9А. С. 119–123.
2. Шмат С. І. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом [Електронний Ресурс] / С. І. Шмат, П. Г. Лузан, С. В. Колісник // КНТУ. – 2010. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/4971>
3. Пастушенко С.І. Питання оптимізації технічних систем / Пастушенко С.І. // Збірник наукових праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – Київ: Видавництво НАУ. – 2002. – Т.ХІ. – С. 266–271.
4. Дубинин В. Ф. Обоснование процессов и средств погрузки объектов сельскохозяйственного производства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / В.Ф. Дубинин. – Москва, 1994. – 38 с.
5. Палке Б. Ковш, грейфер, фреза, блокорежка... сравнительное тестирование семи различных машин для отбора силоса / Б. Палке, О.Штайнхофель // Новое сельское хозяйство. – 2006. – №5. С. 120–128.
6. Таннебергер Т. Обзор оборудования для отбора и перемещения силоса / Т. Таннебергер // Сельскохозяйственные вести. – 2002. – №2. С. 14–16.
7. Shargorodskiy S. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith / S. Shargorodskiy, V. Rutkevych // Slovak international scientific journal. – 2021. – № 54. С. 10–20.

8. Павлов И.М. Совершенствование технологического процесса и обоснование параметров рабочего органа погрузчика для блочной выемки консервированных кормов из траншейных хранилищ: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Павлов Иван Михайлович – Саратов, 1990. –180 с.
9. Руткевич В.С. Сучасний стан механізації вивантаження консервованих кормів / В.С. Руткевич // Збірник наукових праць ВНАУ. – 2010. – №4. С. 87–95.
10. Руткевич В.С. Адаптивний гідравлічний привод блочно-порційного відокремлювача консервованого корму/ В.С. Руткевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – №4(99). С. 108–113.
11. Фінкельштейн З.Л. Експлуатація, обслуговування та надійність гідравлічних машин і гідроприводів / Фінкельштейн З.Л., Андренко П.М., Дмитрієнко О.В. //: навч. посіб. Харків: Видавничий центр. НТУ “ХПІ” – 2014. 308 с.
12. Таннебергер Т. Современная техника для крупных хозяйств / Т. Таннебергер// Новое сельское хозяйство. – 2002. – №1. С. 42–47.
13. Пастушенко С.И., Яхно О.М. Методы выбора оптимальных параметров технических систем / С.И. Пастушенко, О.М. Яхно// Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки». – 2003. – №12(58). С. 196–199.

References

1. Ratushna N. Metodychni pidkhydy do stvorennia novoi silskohospodarskoi tekhniki u vidpovidnosti z vymohamy rynku naukoiemnoi produktsii / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // MOTROL.–2007. – № 9А. С. 119–123.
2. Shmat S. I. Tendentsii staloho rozvytku suchasnoho silskohospodarskoho mashynobuduvannia v Ukraini i za rubezhem [Elektronnyi Resurs] / S. I. Shmat, P. H. Luzan, S. V. Kolisnyk // KNTU. – 2010. Rezhym dostupu: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/4971>
3. Pastushenko S.I. Pytannia optymizatsii tekhnichnykh system / Pastushenko S.I. // Zbirnyk naukovykh prats NAU “Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva”. – Kyiv: Vydavnytstvo NAU. – 2002. – Т.ХІ. – С. 266–271.
4. Dubinin V. F. Obosnovanie processov i sredstv pogruzki obektov selskohozyajstvennogo proizvodstva: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tehn. nauk: spec. 05.20.01/ V.F. Dubinin. – Moskva, 1994. – 38 s.
5. Palke B. Kovsh, grejfer, freza, blokorezka... sravnitelnoe testirovanie semi razlichnykh mashin dlya otbora silosa / B. Palke, O.Shtajnhofel // Novoe selskoe hozyajstvo. – 2006. – №5. S. 120–128.
6. Tanneberger T. Obzor oborudovaniya dlya otbora i peremesheniya silosa/ T. Tanneberger// Selskohozyajstvennye vesti. – 2002. – №2. S. 14–16.
7. Shargorodskiy S. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith / S. Shargorodskiy, V. Rutkevych // Slovak international scientific journal. – 2021. – № 54. S. 10–20.
8. Pavlov I.M. Sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa i obosnovanie parametrov rabocheho organa pogruzchika dlya blochnoj vyemki konservirovannykh kormov iz transhejnykh hranilish: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01/ Pavlov Ivan Mihailovich –Saratov, 1990. –180 s.
9. Rutkevych V.S. Suchasnyi stan mekhanizatsii vyvantazhennia konservovanykh kormiv / V.S. Rutkevych // Zbirnyk naukovykh prats VNAU. – 2010. – №4. S. 87–95.
10. Rutkevych V.S. Adaptivnyi hidravlichnyi pryvod blochno-portsiinoho vidokremlivucha konservovanoho kormu / V.S. Rutkevych // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2017. – №4(99). S. 108–113.
11. Finkelshtein Z.L. Ekspluatatsiia, obsluhovuvannia ta nadiinist hidravlichnykh mashyn i hidropryvodiv / Finkelshtein Z.L., Andrenko P.M., Dmytriienko O.V. //: navch. posib. Kharkiv: Vydavnychiy tsentr. NTU “KhPI” – 2014. 308 s.
12. Tanneberger T. Sovremennaya tehnika dlya krupnykh hozyajstv / T. Tanneberger // Novoe selskoe hozyajstvo. – 2002. – №1. S. 42–47.
13. Pastushok S.I., Yahno O.M. Metody vybora optimalnykh parametrov tehniceskikh sistem / S.I. Pastushenko, O.M. Yahno// Visnik Sumskogo derzhavnogo universitetu. Seriya «Tehnichni nauki». – 2003. – №12(58). S. 196–199.

Рецензія/Peer review : 24.01.2022 р.

Надрукована/Printed :01.03.2022 р.

КРИЖАК Л. М.

ORSID: 0000-0002-4882-897X

e-mail: liliakrizhak44@gmail.com

Вінницький торговельно-економічний інститут КНТЕУ

АНТОЦΙΑНИ ІЗ КВІТІВ *CLITORIA TERNATEA*

В роботі показано перспективна доцільність використання у харчовій промисловості кліторії трійчастої (*Clitoria ternatea* L.). Особливе місце серед біологічно активних речовин в рослинній сировині кліторії трійчастої, займають антоціанові барвники фенольної природи, які відносяться до біофлавоноїдів (C₆-C₃-C₆). Вони обумовлюють забарвлення квітів від блакитного до синього кольору. Ці пігменти рослин - антоціани добре розчиняються у воді. Найважливіші фактори, від яких залежить стабільність антоціанів - ферменти, температура, кисень, рН, іони важких металів, аскорбінова кислота, світло тощо. Від вмісту кислот і величини рН залежить інтенсивність та різноманітність забарвлення в харчових продуктах. Одні й ті ж антоціани в кислому середовищі дають червоне забарвлення, при зміщені рН в лужний бік дають блакитний або фіолетовий колір, а в сильнолужному середовищі - зелений колір. Антоціани квітів (*Clitoria ternatea* L.), можна використовувати як синій харчовий барвник у кислих та нейтральних харчових продуктах, з метою відновлення і підвищення інтенсивності природного забарвлення, фарбування безколірних продуктів та надання їм привабливого та товарного вигляду.

Ключові слова: квіти кліторії трійчастої, біологічно активні компоненти, антоціани, екстракти, харчовий барвник.

LILIIA KRYZHAK

Vinnytsia Trade and Economic Institute KNTEU

ANTOCYANES FROM *CLITORIA TERNATEA* FLOWERS

The paper shows the promising feasibility of using the clitoral ternary *Clitoria ternatea* L. in the food industry. The main color molecules of *C. ternatea* flowers are various anthocyanins derived from the main classes of dolphinidin, such as ternatine. The blue color of flowers contains anthocyanins, which are widely used as a natural source of food dyes. The main properties of anthocyanins - adaptogenic, antispasmodic, anti-inflammatory and stimulating functions; antiallergic action; bactericidal, choleric, sedative, hemostatic, antiviral properties; insulin-like, photosensitizing action; reduction of fragility and permeability of capillaries, increase of elasticity of vessels; lowering blood cholesterol; increase visual acuity, normalize intraocular pressure; strengthening the body's immunity and protective functions. Anthocyanin dyes of phenolic nature, which belong to bioflavonoids, occupy a special place among biologically active substances in plant raw materials of the clitoral triad. They determine the color of flowers from blue to blue. These plant pigments - anthocyanins - are well soluble in water. The most important factors on which the stability of anthocyanins depends are enzymes, temperature, oxygen, pH, heavy metal ions, ascorbic acid, light, etc. The intensity and variety of color in food depends on the acid content and pH. The same anthocyanins in an acidic environment give a red color, when the pH is shifted to the alkaline side give a blue or purple color, and in a strongly alkaline environment - green. Anthocyanins of flowers *clitoria ternatea* L. can be used as a blue food coloring in acidic and neutral foods, in order to restore and increase the intensity of natural color, coloring colorless products and give them an attractive and marketable appearance.

Key words: clitoral flowers, biologically active components, anthocyanins, extracts, food dye.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Важливим критерієм здорового харчування є висока біодоступність поживних речовин і вітамінів при порівняно невеликій калорійності продукту. Останнім часом науковці велику увагу приділяють пошуку все новим видам різноманітних рослин, які містять органічні речовини з біологічною активністю, особливо з бактерицидною або фунгіцидною дією. Серед таких сполук найбільш представлені різні поліфеноли, фенольні глікозиди, сапоніни, ненасичені лактони, алкадієни та пігменти.

Встановлено, що у процесі виробництва продуктів харчування часто змінюють колір, особливо при теплової обробці. З метою покращення зовнішнього вигляду продуктів багато століть використовували натуральні барвники – вичавки та екстракти рослин. Природні барвники отримують з натуральної сировини (різні частини рослин, ягоди, відходи консервної промисловості) у вигляді соків та екстрактів. Вони безпечні для здоров'я, містять смакові речовини, деякі є біологічно активними. Однак, вміст натуральних барвників у сировині низький (1-3 %), вони можуть піддаватись мікробному псуванню, їх колір залежать від умов росту рослин, часу збирання, рН середовища тощо. Тому, для поліпшення технологічних властивостей барвників їх можуть піддавати хімічній модифікації. Але у ХХ столітті з'явилися стійкі синтетичні барвники, які поступово почали витісняти натуральні. Харчові барвники належать до групи харчових добавок, які поліпшують колір продуктів. У виробництві харчових продуктів використовують природні і синтетичні (органічні та неорганічні) барвники. За нормованими показниками вони повинні відповідати вимогам ДСТУ 3845-99 [1].

Аналіз досліджень та публікацій

Останніми роками все більше уваги приділяється використанню у харчовій промисловості барвників, ароматичних і смакових добавок природнього походження, рослинних екстрактів та інших фітопрепаратів (фітобіотиків) із нетрадиційних рослинних ресурсів.

В роботі наведено інформаційні джерела про можливості використання кліторії трійчастої в якості харчового барвника. Доведена користь для здоров'я та широкий спектр біоактивних сполук що роблять квіти

джерелом функціонального харчування та нутрицевтиків. Отриманий синій порошок з квітів містить велику кількість антоціанів синього кольору, які називаються тернатинами. Антоціани кліторії трійчастої мають гарну термостійкість і стабільність при зберіганні та є альтернативою спіруліні.

Іноземними дослідниками встановлено [2-4], що кліторія трійчаста зазвичай вирощується як декоративна рослина але має велику лікарську цінність. Всі частини рослини *Clitoria ternatea* надають позитивний вплив на здоров'я людини. Сині пелюстки квітів (їстівні), виявляють широкий спектр функціональної активності, в тому числі як антиоксидант, протидіабетичний засіб, засоби проти ожиріння, протиракового, протизапального та антибіотика. Фармакологічний потенціал очевидний завдяки різноманітним лікувальним властивостям різних частин рослини. *Clitoria ternatea L.* - традиційна аюрведична медицина, століттями використовується як підсилювач пам'яті, ноотропний, антистресовий, анксиолітичний, антидепресивний, протисудомний, заспокійливий і заспокійливий засіб.

Синій колір квітів *C. ternatea*, містять антоціани, які широко використовуються як природне джерело харчових барвників. Основні властивості антоціанів це [2]: адаптогенні, спазмолітичні, протизапальні і стимулюючі функції; протиалергічна дія; бактерицидні, жовчогінні, седативні, кровоспинні, антивірусні властивості; інсуліноподібний, фотосенсибілізуючі дії; зменшення ламкості і проникності капілярів, підвищення еластичності судин; зниження рівня холестерину в крові; підвищення гостроти зору, нормалізація внутрішньоочного тиску; зміцнення імунітету і захисних функцій організму.

Основні фарбувальні молекули квітів *C. ternatea* являють собою різні антоціани, отримані з основних класів дельфінідину, таких як тернатин A1-A3, B1-B4, C1 та D1-D3. Оpubліковані звіти показали, що екстракт квітів діє як прямий антиоксидант, який може забезпечити захист від вільних радикалів що утворюються внаслідок зовнішніх або ендогенних біологічних реакцій.

У Південно-Східній Азії квітки кліторії здавна використовують як харчовий барвник. Наприклад, у малайській кухні екстракт з кліторії використовується для фарбування рису в стравах. У Таїланді із кліторії виробляють напій блакитного кольору, званий «анчан».

Тому у подальшому актуальним є проведення аналітичного дослідження щодо стану та перспектив використання у харчовій промисловості кліторії трійчастої.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження використання кліторії трійчастої (*Clitoria ternatea L.*) в харчовій промисловості як природного барвника для харчових продуктів і підвищення їхньої біологічної цінності.

Виклад основного матеріалу

На основі проведеного аналізу літературних джерел науково підтверджено великий потенціал використання *Clitoria ternatea* в харчових продуктах. В сухих квітах виділено широкий спектр вторинних метаболітів, включаючи тритерпеноїди, флавонолглікозиди, антоціани та стероїди.

(*Clitoria*) — рід квіткових рослин родини бобових (підродина метеликові). Таку незвичайну назву цей рід дістав завдяки будові квітки. Назву *Flos clitoridis tematensibus* дав у 1678 році німецький ботанік Г. Е. Румф першим описаним видам цього роду. Аналогічне ім'я їй дав німецький ботанік Й. Ф. Брейне у 1747 році [3]. На сьогодні налічується до 50 видів кліторії, вона є від білого до яскраво синього кольору, саме з усіх сортів, найпривабливішою виявилася - кліторія трійчата, і є актуальною та перспективною сировинною базою.

Інші назви *Clitoria ternatea L.* – «голубині крила» (англомовні країни), «соромітна квітка» (Німеччина), «метеликовий горошок» (англомовні країни, Німеччина), «анчан» (Таїланд).

Екстракція гарячою водою висушених або свіжих пелюсток квітів може бути успішно використана для вилучення антоціанів для послідовного використання в харчових продуктах. Антоціани квітів кліторії трійчастої показали хорошу термічну стабільність та стабільність при зберіганні, але меншу фотостабільність. Як і всі антоціани, колір екстракту квітів кліторії трійчастої, також змінюється залежно від рН. При рН нижче 3,2 є червоний колір, від рН 3,2 до 5,2 колір змінюється з фіолетового на синій, від рН 5,2 до рН 8,2 присутній блакитний колір, а від рН 8,2 до рН 10, 2 колір змінюється зі світло-блакитного на темно-зелений [4].

Екстракти антоціанів із сухих квітів продемонстрували значний ефект *in vitro*, та активність клітинних антиоксидантів. Антоціани можна використовувати як синій харчовий барвник у кислих та нейтральних продуктах.

Квіти кліторії можуть змінюватись від білого до інтенсивного синього та проміжних відтінків. Це забарвлення багато в чому обумовлене вмістом антоціанів та ступенем ароматичного ацилювання [5]. Темно-синій пігмент *C. ternatea* був особливо популярним в Азії, де квіткові пелюстки використовуються для фарбування чаю, десертів та одягу. Нещодавно екстракти квітів *C. ternatea* використовувалися для створення яскраво-блакитних алкогольних джінів, які змінюють колір залежно від рН, наприклад, при змішуванні з тоніком або вапном.

Зокрема, темно-синій колір квітів *C. ternatea* є особливо затребуваною альтернативою синтетичним синім харчовим барвникам, які стають все більш небажаними через проблеми зі здоров'ям [6].

Дослідження показали, що додавання екстрактів *C. ternatea* збільшує вміст поліфенолів та антиоксидантів у бісквітах [7], підвищує стійкість до окислення варених котлет зі свинини [8], і знижує прогнозований глікемічний індекс борошна [9].

Мікрокапсулювання з використанням альгінату запобігло деградацію та покращило збереження антиоксидантної активності поліфенольних екстрактів *C. ternatea* після травлення у шлунково-кишковому тракті [10].

В даний час не існує промислового виробництва *C. ternatea* для отримання антоціанів, а великомасштабний збір рослинного матеріалу навряд чи буде економічно доцільним. Проте недавні успіхи у розробці культур суспензій клітин рослин із генами регуляторного шляху антоціанів пропонують альтернативний підхід [11].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

На підставі проведених аналітичних досліджень встановлено, що кліторія трійчаста є одним із джерел антоціанів, що містять поліацильовані антоціани стабільного синього кольору. Оскільки кількість доступних синіх харчових барвників обмежена, антоціани квітів кліторії будуть гарною альтернативою для використання як натуральний синій харчовий барвник. Тому, перспективним напрямком є застосування її в харчовій промисловості для виробництва безалкогольних напоїв, кондитерських виробів, консервів, молочних продуктів, що дозволить скласти конкуренцію продуктам в склад яких входять хімічно синтезовані харчові барвники.

Література

1. Барвники натуральні харчові. Технічні умови. ДСТУ 3845-99. – [Чинний від 2000-01-01] – Київ: Держстандарт України, 2000. — 35 с. (національний стандарт України).
2. Ockermann P. A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health / Ockermann P. // *Nutrients*. – 2021. – Т. 13. – №. 8. – С. 2831.
3. Fantz Paul R. Nomenclatural Notes on the Genus *Clitoria* for the Flora North American Project / Fantz, Paul R // *Castanea*, vol. 65, no. 2, Southern Appalachian Botanical Society, 2000 pp. – S. 89–92, <http://www.jstor.org/stable/4034108>.
4. Escher G. B. Phenolic composition according to UHPLC-Q-TOF-MS / MS and stability of anthocyanins from blue petals of *Clitoria ternatea* L. (pea butterfly). / Escher G.B, Wen M., Zhang L., Rosso N.D. and Granato D. // *Food chem.* – 2020a. – S. 331: 127341. doi: 10.1016 / j. foodchem.2020.127341.
5. Kazuma K. Flavonoid composition related to petal color in different lines of *Clitoria ternatea*. / Kazuma, K., Noda, N., and Suzuki, M. // *Phytochemistry* – 64. – 2003a, S. 1133–1139. doi: 10.1016/S0031-9422(03)00504-1.
6. Nigg, J. Meta-analysis of attentiondeficit/hyperactivity disorder or attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms, sestriction diet, and synthetic food color additives / Nigg, J., Lewis, K., Edinger, T., and Falk, M. // *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 51–2011, S. 86–97. doi: 10.1016/j.jaac.2011.10.015.
7. Pasukamonset P. Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of sponge cakes fortified with *Clitoria ternatea* extract. / Pasukamonset, P., Pumalee, T., Sanguansuk, N., Chumyen, C., Wongvasu, P., Adisakwattana, S., et al // *J. Food Sci. Technol.* 55 – 2018, S. 2881–2889. doi: 10.1007/s13197-018-3204-0.
8. Pasukamonset P. Oxidative stability of cooked pork patties incorporated with *Clitoria ternatea* extract (blue pea flower petal) during refrigerated storage / Pasukamonset, P., Kwon, O., and Adisakwattana, S. // *J. Food Process. Preserv.* 41 – 2017 e12751. doi: 10.1111/jfpp.12751.
9. Chusak C. Influence of *Clitoria ternatea* flower extract on the in vitro enzymatic digestibility of starch and its application in bread. *Foods* – 2018a – 7:102. doi: 10.3390/foods7070102.
10. Pasukamonset P. Alginate-based encapsulation of polyphenols from *Clitoria ternatea* petal flower extract enhances stability and biological activity under simulated gastrointestinal conditions / Pasukamonset, P., Kwon, O., and Adisakwattana, S. // *Food Hydrocoll.* 61, – 2016. – S. 772–779. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.039.
11. Appelhagen, I. Colour bio-factories: towards scale-up production of anthocyanins in plant cell cultures / Appelhagen, I., Wulff-Vester, A. K., Wendell, M., Hvoslef-Eide, A.-K., Russell, J., Oertel, A., et al // *Metab. Eng.* 48, 2018. – S. 218–232. doi: 10.1016/j.ymben.2018.06.004.

References

1. Natural food dyes. Specifications. DSTU 3845–99. – [Effective from 2000 –01–01] - Kyiv: State Standard of Ukraine, 2000. – 35 – p. (national standard of Ukraine).
2. Ockermann P. A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health / Ockermann P. // *Nutrients*. – 2021. – Т. 13. – №. 8. – С. 2831.
3. Fantz Paul R. “Nomenclatural Notes on the Genus *Clitoria* for the Flora North American Project.” / Fantz, Paul R // *Castanea*, vol. 65, no. 2, Southern Appalachian Botanical Society, 2000 pp. – S. 89–92, <http://www.jstor.org/stable/4034108>.
4. Escher G.B. Phenolic composition according to UHPLC-Q-TOF-MS / MS and stability of anthocyanins from blue petals of *Clitoria ternatea* L. (pea butterfly). / Escher G.B, Wen M., Zhang L., Rosso N.D. and Granato D. // *Food chem.* – 2020a. – S. 331: 127341. doi: 10.1016 / j. foodchem.2020.127341.
5. Kazuma K. Flavonoid composition related to petal color in different lines of *Clitoria ternatea*. / Kazuma, K., Noda, N., and Suzuki, M. // *Phytochemistry* – 64. – 2003a, S. 1133–1139. doi: 10.1016/S0031-9422(03)00504-1.
6. Nigg, J. Meta-analysis of attentiondeficit/hyperactivity disorder or attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms, sestriction diet, and synthetic food color additives / Nigg, J., Lewis, K., Edinger, T., and Falk, M. // *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 51–2011, S. 86–97. doi: 10.1016/j.jaac.2011.10.015.
7. Pasukamonset P. Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of sponge cakes fortified with *Clitoria ternatea* extract. / Pasukamonset, P., Pumalee, T., Sanguansuk, N., Chumyen, C., Wongvasu, P., Adisakwattana, S., et al // *J. Food Sci. Technol.* 55 – 2018, S. 2881–2889. doi: 10.1007/s13197-018-3204-0.
8. Pasukamonset P. Oxidative stability of cooked pork patties incorporated with *Clitoria ternatea* extract (blue pea flower petal) during refrigerated storage / Pasukamonset, P., Kwon, O., and Adisakwattana, S. // *J. Food Process. Preserv.* 41 – 2017 e12751. doi: 10.1111/jfpp.12751.
9. Chusak C. Influence of *Clitoria ternatea* flower extract on the in vitro enzymatic digestibility of starch and its application in bread. *Foods* – 2018a – 7:102. doi: 10.3390/foods7070102.

10. Pasukamonset P. Alginate-based encapsulation of polyphenols from *Clitoria ternatea* petal flower extract enhances stability and biological activity under simulated gastrointestinal conditions / Pasukamonset, P., Kwon, O., and Adisakwattana, S. // *Food Hydrocoll.* 61. – 2016. – S. 772–779. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.039.

11. Appelhagen, I. Colour bio-factories: towards scale-up production of anthocyanins in plant cell cultures / Appelhagen, I., Wulff-Vester, A. K., Wendell, M., Hvoslef-Eide, A.-K., Russell, J., Oertel, A., et al // *Metab. Eng.* 48, 2018. – S. 218–232. doi: 10.1016/j.ymben.2018.06.004.

Рецензія/Peer review : 18.01.2022 р.

Надрукована/Printed :27.02.2022 р.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page_id=37

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 12 від 23.02.2022 р.

Підп. до друку 23.02.2022 р. Ум.друк.арк. 41,19 Обл.-вид.арк. 39,19
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63